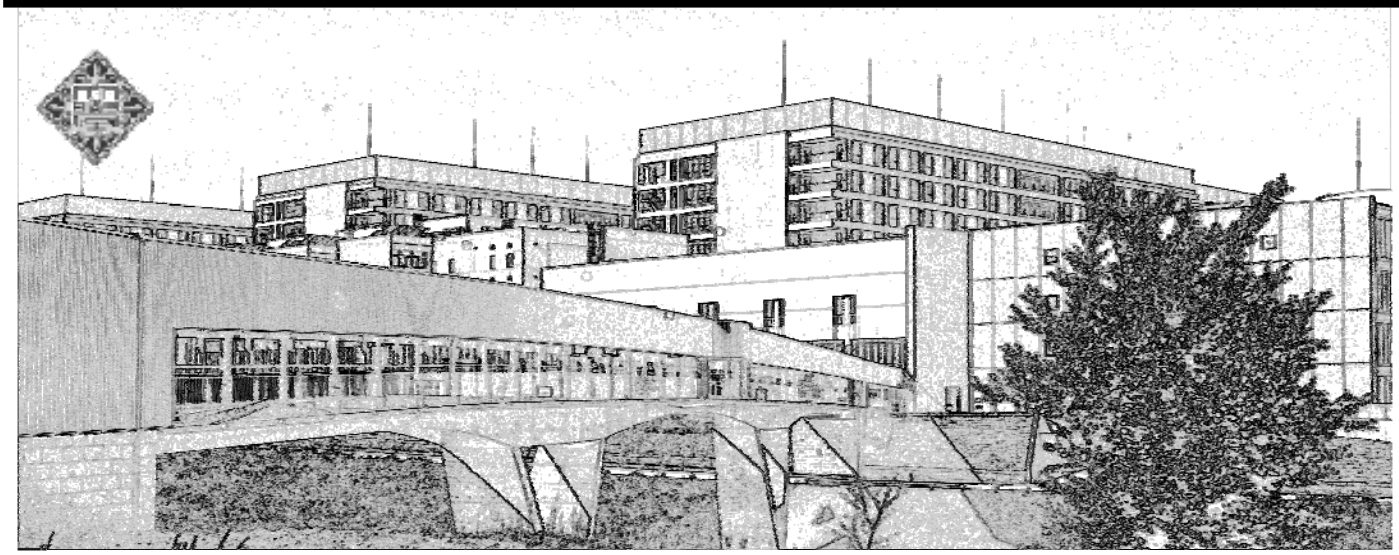


技術部報告

金沢大学工学部

Vol.8

2007

巻　頭　言

再び「技術と信頼性」について

金沢大学　技術部長（工学部長）
尾田　十八

一昨年のこの技術部報告 Vol. 6 の巻頭言で，小生は「技術と信頼性」という題目で，その当時多発していた技術関連する事故について，私見を述べさせていただいた。

しかしその後もナショナルのFF式ストーブの不完全燃焼問題，ソニーの携帯電話のバッテリー発火問題，各社のエレベーター籠の強度不足問題等々，技術に関わる事故は止まる所がなく頻発している。このように事故が続くならば，日本は技術立国ではなく，技術亡国になってしまう深刻な状況と言えると思う。

近年のこのような技術事故問題の生ずる背景として，心理学者の芳賀繁氏（立教大学教授）は次の 4 つの点が指摘できることを述べている。

１．視野狭窄：自分の仕事や割り当てられた担当の部分しか見えない。
２．近 視 眼：時間的にすぐ近くのことしか見えない。つまり今さえ良ければ良いという考え。
３．行き過ぎた効率化とコストダウン：企業が投資とそのリターン（株主中心の思想）ばかり考えている風潮。
４．ユーザー側の要求が高過ぎること：このためリスクがあると大騒ぎをしそのために必要なサービスはすべて提供者へ押しつける風潮。

これらの内１，２は技術者そのものの特質に原因があると言えるものであり，３はそれを雇用している企業の経営方針に関わるもので，最後の４は機器類を使用している我々を含めた，あらゆる人々の意識に関するものと言える。

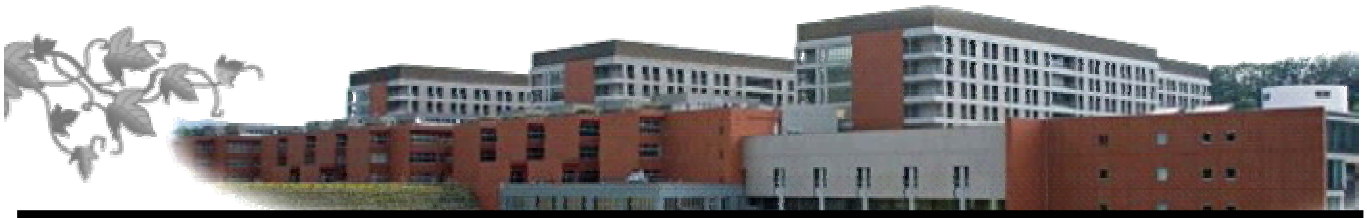
このように１～４は一見それぞれ別の分野の事象のように見えるが，小生には，どうもこれらの背景として日本社会全体のシステムや構造変化が起因しているように思われる。それはバブル崩壊による長い不況を経験したことにも影響されていると思うが，人々が何事に対しても効率や利潤を最優先する意識が近年特に強くなって来ていることがあると思う。効率や利潤を最優先すること自身は何も悪い事ではないが，それがロングレンジ，つまり時間的に長期間で評価されていないことであろう。

上記の１，２の点は，すでに技術者自身が，その取扱っている技術の背景や

仕組をじっくりと理解し，その上で各種の問題を解決する余裕が無くなって来ていることを意味している。このことは３の点とも関係している。なぜなら，企業自身が経営効率の名の下で，伝統的な終身雇用制度等を廃止し，実際には十分な教育や訓練の必要な技術者に代り，即戦力となる派遣社員やパートのウェートを増大させているからと言える。

以上述べた目先の利潤や効率のみを重視する風潮は，企業のみでなく世間一般にも広がっており，かつインターネットやマスコミ等の情報流通の過多も影響して，一般ユーザーの要求は，その利用機器類等の経済的価値と釣合わないくらいに高くなって来ている。このことが４の背景にあると思われる。

このように今日生じている技術的問題の背景は日本全体の社会的問題であると思われ，これを解決することは容易ではない。すなわち原因は日本人の考え方，大げさに言えば心の問題にあるとも言え，したがってこれこそ大学を含めた教育の重要性が指摘されると思う。



目　　次

技術報告

VLSI 設計室について
情報システム工学科　蟹屋敷　祐介 …… 1
結索装置用小型吸引機の開発
技術支援センター　菊地　遵一 …… 2
CNC 旋盤に於ける小径加工時の素材支持開発
技術支援センター　久保　栄 …… 4
ある種の関数変数をもつ双曲型方程式の解の振動性について
機能機械工学科　正角　豊 …… 6
関数変数をもつ非線形放物型方程式系の解の振動性
機能機械工学科　正角　豊 …… 12
振り子型摩擦試験機の製作
機能機械工学科　正角　豊 …… 19
SEM 用標準試料の作製とその評価
物質化学工学科　杉山　博則 …… 20
技術職員　一年生
環日本海域環境研究センター　松本　有加 …… 29
遊星歯車を利用した刃物砥ぎ装置の開発
技術支援センター　和布浦　和夫 …… 32
石川県産骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究
土木建設工学科　山戸　博晃 …… 34

研修報告

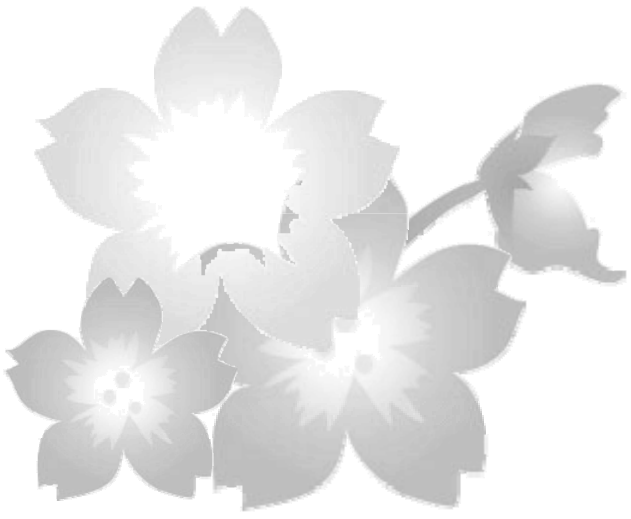
平成 19 年度　石川県地区国立大学法人等技術職員研修の取組み
研修委員（辻良一、倉田喜博、倉谷知宏、川口秀樹） …… 41
平成 19 年度　石川県地区国立大学法人等技術職員研修　研修報告
機能機械工学科　正角　豊 …… 56
研修報告：セイコーエプソン㈱「ものづくり塾」見学
機能機械工学科　正角　豊 …… 58

編集後記

表紙写真

写真は理学部側からの南アカンサスインターフェースと自然科学研究科棟

技 術 報 告



ＶＬＳＩ設計室について

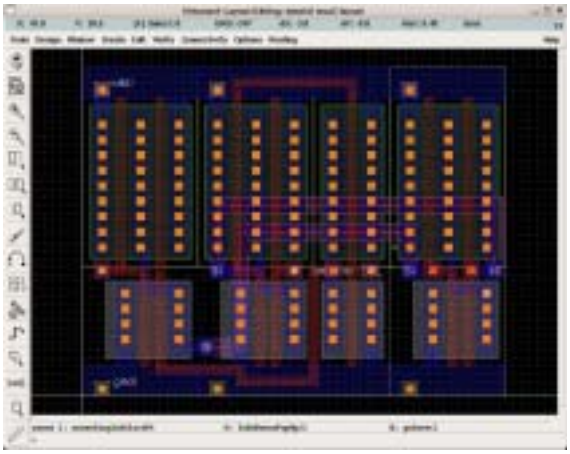
金沢大学工学部情報システム工学科
蟹屋敷　祐介

１．はじめに

ＶＬＳＩ(大規模集積回路)は現在、携帯電話など様々な機器に使われています。ＶＬＳＩ設計室ではＣＡＤツールを用いてＶＬＳＩの設計や研究やＣＡＤのライセンスの提供なども行っています。

２.ＶＬＳＩチップの設計と評価

ＶＬＳＩチップ作成のためにＶＬＳＩ設計室で設計図を作成します。これにはＣＡＤツールを用いて設計図を作られており、シミュレーション、論理合成、自動配置配線、レイアウトなどが行えます。



図．レイアウト設計図

この設計図から半導体メーカーによってチップを製造し、ＶＬＳＩ評価室で性能、故障箇所などを評価します。

ＶＬＳＩ設計室は２４時間開放されています。学生の研究ではＶＬＳＩの低消費電力化、動画像認識ＶＬＳＩ、高性能ＲＡＭの開発などの研究が行われています。

３．ＶＬＳＩ設計室の役割

ＶＬＳＩ設計教育および研究の高度化を目指したＶＤＥＣ（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）という組織が設計教育の中心となっています。

図．ＶＤＥＣ地域拠点図

金沢大学はＶＤＥＣ北陸支部となっています。ＶＬＳＩ設計室ではＣＡＤのライセンスサーバが置かれており、ＶＤＥＣから提供されたＣＡＤのライセンスを取得するために全国からアクセスされています。

図．ライセンスサーバ

また、金沢大学ではＶＤＥＣ北陸支部としてＣＡＤツールの講習会、ＣＡＤツール設計環境の提供、ＶＤＥＣ活動の広報および新規ユーザへの情報提供も行っています。

参考文献
東京大学大規模集積システム設計教育研究センター（ＶＤＥＣ）ホームページ
http://www.vdec.u-tokyo.ac.jp/

結索装置用小型吸引機の開発

金沢大学技術支援センター
菊　地　　遵　一

１．開発背景

２００５年度に行った水中網結び機の研究開発において、吸引機の性能即ち吸引力が網結び機の性能に大きく影響することが判明している。しかし、現状で利用可能な吸引装置は大型で電力駆動のものが殆どであり、水中網結びに最適とは言えない。又、水中作業では吸引機の駆動に電力よりも圧縮空気を用いた方が有利である。以上のことから、水中網結び機の性能をさらに高めることを目的にした、小型吸引機の開発を行うことになった。

２．内部機構の設計

当初はパイプ内に圧縮空気を送り渦巻き流を発生させ、その吸引力で水を吸引する機構を検討したが流量不足が想定されたため、２枚の吸引羽根を異方向に回転させる機構を取り入れることになり、装置の大きさをΦ３０㎜×２００㎜程度とすることになった。図１に示すように内径２０㎜のパイプ内に軸Ｅ・ｅによって連結された、各２枚の駆動羽根・吸引羽根Ａ・ａ、Ｂ・ｂを組み込み、ＡＢ、ａｂは相反する捻れ角を持つ。①から①’へ高圧空気を流すと羽根Ａ、Ｂはそれぞれ異方向に回転し、連結された吸引羽根ａ、ｂの回転により水は②から吸引され②’へ排出される。吸引羽根を２段に配置することにより、吸引の効率化が図られると推測された。

３．装置製作

装置の材質は内部状態が観察出来るよう、本体部に透明アクリル材、その他の部品はジュラルミン、真鍮等を用いた。軸の回転受けには５個のミニチュアベアリングを使用し、加工は旋盤、治具ボール盤、ＮＣフライス盤を用いて行った。吸引羽根は当初、模型用スクリューを使用する予定だったが、高い吸引力が得られず、駆動、吸引両方の羽根を加工製作することになった。駆動羽根は一度の製作で良好な動作が得られたが、吸引羽根は形状によっては吸引力が全く得られない場合があったため、形状を変えた１０種類程度の羽根を製作した（写真１）。製作方法はジュラルミン丸棒を旋盤加工した後、治具フライス、ＮＣフライス、割り出し台等を使用して加工製作した。なお、当初検討した渦巻き流による吸引機構をもった装置も本装置との性能比較のため透明アクリル材を使用し製作した。高圧空気を排出する部分は当初解放としていたが、実験において多量の水粒が飛散するため排出部にホースを取り付ける修正加工を行った。製作した吸引機を写真２、３に示す。

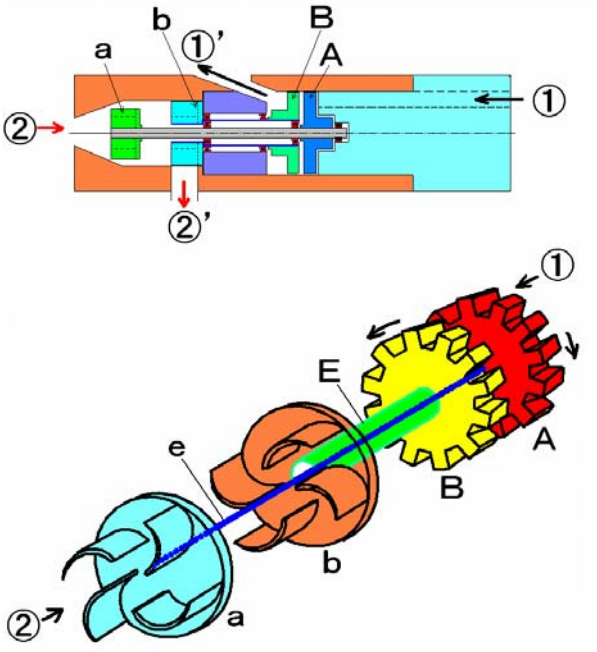


図１　機構図

写真１　製作羽根

写真２　吸引装置

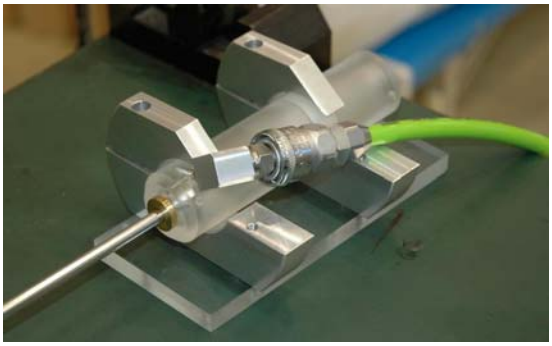


写真３　渦巻き流吸引装置

４．吸引実験

実験は圧縮空気圧を変化させ、吸引羽根形状毎に吸引羽根１枚と２枚の場合の吸引流量測定を行った。渦巻き流吸引の場合は、空気圧を変化させ、空気流量（デジタル流量計による測定）及び吸引量の測定を行った。吸引量の測定方法は水を入れた容器を秤に載せ、中に吸引機を設置し、それを稼働させ水を容器外に排出し、時間毎に減少する水の重量を測定し、その重量から吸引流量の算出を行った。吸引動力に使用する圧縮空気は、レギュレータを介して取り入れ、圧力が可変できるようにした。（写真４）また、吸引流量が一番大きな吸引羽根を組み込んだ吸引機を水中網結び機に取り付け、網糸の吸引実験も行った。

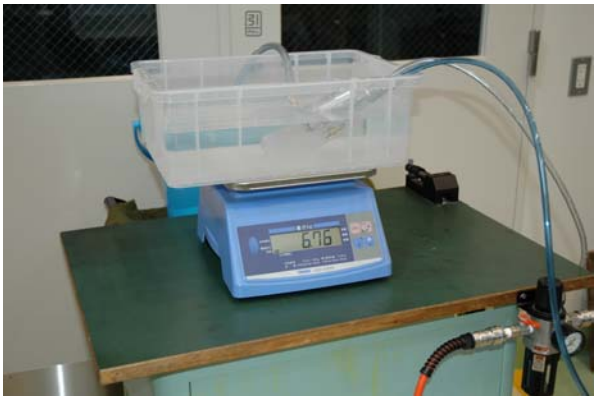


写真４　実験風景

５．実験結果とまとめ

空気圧を0.1ＭＰａから0.4ＭＰａまで変化させ、変化量0.05ＭＰａ毎の吸引流量測定を行った。その結果一番大きな流量を得られた羽根の場合、吸引羽根ａ（図１）単独では0.3ＭＰａにおいて約2.2Ｌ／min、吸引羽根ａｂを用いた場合では0.3ＭＰａにおいて2.7Ｌ／minの吸引量が得られた。これにより、2枚の吸引羽根を用いた場合は、1枚の場合に比べて約20％吸引流量が増加することが判明した。又、結索機と吸引機を繋ぎ水中に設置して動作状態の観察を行ったが良好な結果が得られ、容易に結索機に網糸を導入することが可能となった。なお、渦巻き流吸引装置での実験結果は、吸引時の騒音や満足な吸引流量を得ることが出来なかった事を理由に、今回は装置優劣の比較対象としなかった。

今回、羽根の加工製作には3軸のＮＣフライスを用いたが、4～5軸のマシニングセンタで更に性能の良い羽根の加工製作を行えば吸引能力の向上も期待できる。今回の実験により本装置の有効性が実証されたが、今後は吸引効率の良い羽根の設計が課題となる。

謝　辞

本装置開発に際し、本学機能機械工学科機構設計講座の新宅救徳教授に貴重な御助言を頂いたことに、深く感謝の意を述べる。

CNC 旋盤に於ける小径加工時の素材支持開発

技術支援センター
久保　栄

はじめに

技術支援センターでは引張試験や疲労試験に用いる試験片*（金属）を数多く加工しているが、今回アルミ系小径試験片の加工依頼があった。トライ加工では以下の対策を行ない研究室からの要望を満たす内容の加工ができた。

依頼品の形状など

2 倍の縮尺で描かれた試験片の図面で表示され手頃な大きさと感じた．最小寸法の表示を確認しないまま「過去に加工したサイズに近い」と勝手に判断してしまった．

写真１
（製作した製品）

加工直前に担当者と相談するなかで，加工はかなりの困難が伴うことが分かった．素材は A5000 系，加工ストレスなどが最小限になる等いくつかの要望があった．また，この試験を行う機器**は大学には無いため民間会社に出向いて行うことが判明した．ネジゲージも保有していないため加工品の検査ができない．また，簡単に試験片のネジが試験機に取り付くか簡単に確認できない状態であった．

特に重要点は，①加工ストレスが少ない②片方は指定したネジ，センター穴は残さない③回転センターで保持した場合の圧力は最小限で加工．技術支援センターで加工した品物は写真１の通り，ネジ部分を含めても全長 64 ㎜と太い部分で 10 ㎜，細い部分が 3 ㎜と小さい．

*試験片の名称は「サーキュラテーパ型試験片」

** 島津製作所の超音波疲労試験機 USF-2000）：高速疲労試験を行うための製品

CNC 旋盤を使った従来例について

試験片の片方をチャックで把握し，反対側を回転センターで押え切削する．回転センターは油圧機構のため，センター穴に回転センターをセッティングしただけでセンター穴がつぶれてしまうため加工できない．両端を掴む方式の旋盤であれば簡単に加工可能だが，使用予定している CNC 旋盤では，特別な工夫しないと無理だとの結論に達した．

図 1　サーキュラテーパ型試験片

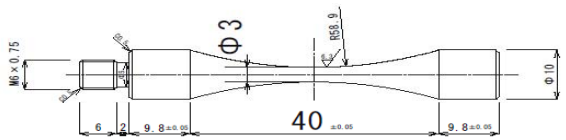
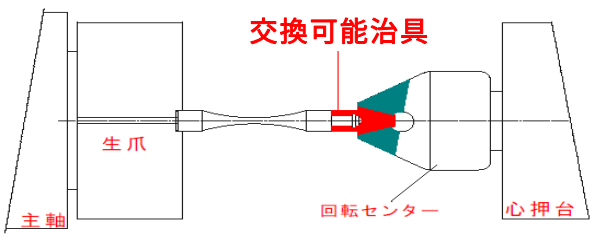


図 2



治具と試験片の保持方法は

今までは，回転センターで支え，Z 軸方向に圧力をかけた状態で加工していた．今回は，試験片の片方を生爪チャックで保持するが，反対側は Z 軸方向への圧力をかけないで保持する方法を検討した．試験片（図１）の片方は雄ネジであり，その部分を活用する方法で考えた．雌ネジ部分を有した先端部交換式先端部分を新たに設計・製作した．構造は「ネジ込み式であり交換（改良）可能」な形になっている．写真 1 は、今回の試験片加工用の専用治具である．

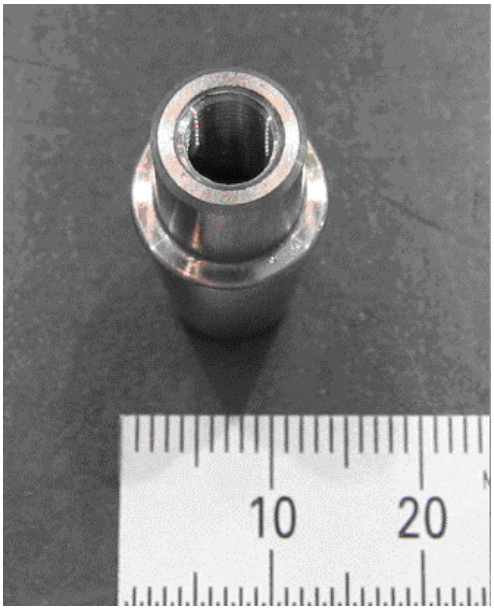


写真２
（交換可能治具）

試験片は粗加工後ネジ部分だけを CNC 旋盤で加工後,製作した治具に試験片をネジ込み取り付ける．手加減で心押台ごとチャック方向に移動させ,試験片をチャッキングする．心押台をクランプし加工を開始する．予備実験で，図１（試験片）の加工を技術支援センター保有の森精機製 CNC 旋盤（SL-250　最大加工径 390,最大加工長さ 324）を使い，アルミ系小径試験片を加工することが可能と判断できた．

まとめ

本来このような小径試験片加工には高価な両軸回転 CNC 旋盤が必要で外注していた．治具を使用することで無理と思われた小径試験片を安定加工できる可能性が十分あると思われる．また，今回の治具を変えることにより，いろいろな素材加工にも対応可能と思われる．小型の機械でなくとも現有機械で小さい試験片や部品加工に対応可能と思われる。

限られた機械で加工するためにはいろいろな工夫がなされることが多いが,今回の事例も有効と思われるので経過をまとめ，各種小径の素材加工に生かされるものと思う。

ある種の関数変数をもつ双曲型方程式の解の振動性について†

機能機械工学科　正角　豊

次の関数変数双曲型方程式の解の振動性について調べる.

$$
\begin{aligned}
(1)\quad & \frac{\partial}{\partial t}\left(p(t)\frac{\partial}{\partial t}\left(u(x,t)-\int_{\alpha}^{\beta}h(t,\xi)u(x,\rho(t,\xi))d\eta(\xi)\right)\right)\\
& -a(t)\Delta u(x,t)-\sum_{i=1}^{k}b_i(t)\Delta u(x,\tau_i(t))+q_0(x,t)u(x,t)\\
& +\int_{\gamma}^{\delta}q(x,t,\zeta)\varphi(u(x,\sigma(t,\zeta)))d\omega(\zeta)=f(x,t),\ (x,t)\in\Omega\equiv G\times(0,\infty),
\end{aligned}
$$

ここで, G は区分的に滑らかな境界 ∂G をもつ $\mathbb{R}^n$ の有界領域, 方程式 (1) における積分は Stieltjes 積分である. 境界条件として次の (B_1) あるいは (B_2) を考える :

$$
(\mathrm{B}_1)\qquad u=\psi\quad\text{on}\quad\partial G\times(0,\infty),
$$

$$
(\mathrm{B}_2)\qquad \frac{\partial u}{\partial\nu}+\mu u=\tilde{\psi}\quad\text{on}\quad\partial G\times(0,\infty),
$$

ここで, $\psi,\tilde{\psi}\in C(\partial G\times(0,\infty);\mathbb{R})$, ν は ∂G の外向き単位法線ベクトルである. また, $\mu\in C(\partial G\times[0,\infty);[0,\infty))$. 次の 2 つの条件のいずれかが成り立つ場合を考える :

$$
\text{(C1)}\ \int_{t_0}^{\infty}\frac{1}{p(t)}dt=\infty,\qquad \text{(C2)}\ \int_{t_0}^{\infty}\frac{1}{p(t)}dt<\infty.
$$

Tanaka と Yoshida[3] は、方程式 (1) において $h(t,\xi)<0$ および $q(x,t,\zeta)<0$ の場合の解の振動条件を得た. また Tao と Yoshida[4] は方程式 (1) において条件 (C1),(C2) を用いずに, (1) の非有界な解がすべて振動することを求めた. そこで, 条件 (C1) および (C2) のもとで, Kusano と Naito[1], Tanaka[2] や Yoshida[5] の結果を参考にすべての解が振動するための十分条件を得ることを目的とする. 次の仮定が成り立つとする :

$$
\begin{aligned}
(\mathrm{H1})\ & p(t)\in C([0,\infty);(0,\infty)),\ \ a(t)\in C([0,\infty);[0,\infty)),\\
& b_i(t)\in C([0,\infty);[0,\infty))\ (i=1,2,\dots,k),\\
& h(t,\xi)\in C([0,\infty)\times[\alpha,\beta];[0,\infty)),\ \ q_0(x,t)\in C(\overline{\Omega};[0,\infty)),\\
& q(x,t,\zeta)\in C(\overline{\Omega}\times[\gamma,\delta];[0,\infty)),\ f(x,t)\in C(\overline{\Omega};\mathbb{R})\ ;
\end{aligned}
$$

†上越教育大学における微分方程式セミナー
2007 年 8 月 28 – 29 日

(H2) $\rho(t,\xi) \in C([0,\infty)\times[\alpha,\beta];\mathbb{R})$, $\lim_{t\to\infty}\min_{\xi\in[\alpha,\beta]}\rho(t,\xi)=\infty$,
$\tau_i(t) \in C([0,\infty);\mathbb{R})$ $(i=1,2,\ldots,k)$, $\lim_{t\to\infty}\tau_i(t)=\infty$,
$\sigma(t,\zeta) \in C([0,\infty)\times[\gamma,\delta];\mathbb{R})$, $\lim_{t\to\infty}\min_{\zeta\in[\gamma,\delta]}\sigma(t,\zeta)=\infty$;

(H3) $\eta(\xi) \in C([\alpha,\beta];\mathbb{R})$, $\omega(\zeta) \in C([\gamma,\delta];\mathbb{R})$ はそれぞれ区間 $[\alpha,\beta]$, $[\gamma,\delta]$ における増加関数である ;

(H4) $\varphi(s) \in C(\mathbb{R};\mathbb{R})$ は $(0,\infty)$ において凸かつ非減少関数で, $s>0$ において $\varphi(-s)=-\varphi(s)$, $\varphi(s)>0$ を満たす.

Definition 1. 関数 $u(x,t) \in C^2(\overline{\Omega}\times[t_{-1},\infty);\mathbb{R}) \cap C(\overline{\Omega}\times[\tilde{t}_{-1},\infty);\mathbb{R})$ が方程式 (1) の**解**であるとは, $u(x,t)$ が方程式 (1) を満たすことである, ただし

$$
\begin{aligned}
t_{-1} &= \min\left\{0, \min_{1\le i\le k}\left\{\inf_{t\ge 0}\tau_i(t)\right\}, \min_{\xi\in[\alpha,\beta]}\left\{\inf_{t\ge 0}\rho(t,\xi)\right\}\right\},\\
\tilde{t}_{-1} &= \min\left\{0, \min_{\zeta\in[\gamma,\delta]}\left\{\inf_{t\ge 0}\sigma(t,\zeta)\right\}\right\}.
\end{aligned}
$$

Definition 2. 方程式 (1) の解 $u(x,t)$ が Ω で**振動する**とは, 任意の $T_0>0$ に対して $u(x,t)$ が零点を $G\times(T_0,\infty)$ においてもつことである.

関数 $u \in C\left(\overline{\Omega};\mathbb{R}\right)$ に対して以下を定義する :

$$
U(t) \equiv K_\Phi \int_G u(x,t)\Phi(x)dx, \quad \tilde{U}(t) \equiv \frac{1}{|G|}\int_G u(x,t)dx,
$$

ここで, $|G| = \int_G dx$ かつ $K_\Phi = (\int_G \Phi(x)dx)^{-1}$ である. また $\Phi(x)$ は固有値問題

$$
\begin{aligned}
-\Delta w &= \lambda w \quad \text{in} \quad G,\\
w &= 0 \quad \text{on} \quad \partial G
\end{aligned}
$$

の最小固有値 λ_1 (>0) に対応する固有関数であり, $\Phi(x)>0$ と仮定できる. 次の表記を使う :

$$
\begin{aligned}
G(t) &= F(t) - a(t)\Psi(t) - \sum_{i=1}^{k} b_i(t)\Psi(\tau_i(t)),\\
\tilde{G}(t) &= \tilde{F}(t) + a(t)\tilde{\Psi}(t) + \sum_{i=1}^{k} b_i(t)\tilde{\Psi}(\tau_i(t)),\\
F(t) &= K_\Phi\int_G f(x,t)\Phi(x)dx, \quad \Psi(t) = K_\Phi\int_{\partial G}\psi\frac{\partial\Phi}{\partial\nu}(x)dS,
\end{aligned}
$$

$$\tilde{F}(t) = \frac{1}{|G|}\int_G f(x,t)dx, \quad \tilde{\Psi}(t) = \frac{1}{|G|}\int_{\partial G}\tilde{\psi}dS,$$
$$Q(t,\zeta) = \min_{x\in\overline{G}} q(x,t,\zeta).$$

Theorem 1. 仮定 (H1)–(H4) が成り立つとする. もし微分不等式

$$\frac{d}{dt}\left(p(t)\frac{d}{dt}\left(y(t) - \int_\alpha^\beta h(t,\xi)y(\rho(t,\xi))d\eta(\xi)\right)\right) + \int_\gamma^\delta Q(t,\zeta)\varphi(y(\sigma(t,\zeta)))d\omega(\zeta) \le \pm G(t) \tag{2}$$

が終局的に正の解をもたないならば, 境界値問題 (1), (B_1) のすべての解 u は Ω において振動する.

Theorem 2. 仮定 (H1)–(H4) が成り立つとする. もし微分不等式

$$\frac{d}{dt}\left(p(t)\frac{d}{dt}\left(y(t) - \int_\alpha^\beta h(t,\xi)y(\rho(t,\xi))d\eta(\xi)\right)\right) + \int_\gamma^\delta Q(t,\zeta)\varphi(y(\sigma(t,\zeta)))d\omega(\zeta) \le \pm\tilde{G}(t) \tag{3}$$

が終局的に正の解をもたないならば, 境界値問題 (1), (B_2) のすべての解 u は Ω において振動する.

次に, 非線形関数微分不等式

$$\frac{d}{dt}\left(p(t)\frac{d}{dt}\left(y(t) - \int_\alpha^\beta h(t,\xi)y(\rho(t,\xi))d\eta(\xi)\right)\right) + \int_\gamma^\delta Q(t,\zeta)\varphi(y(\sigma(t,\zeta))d\omega(\zeta) \le H(t) \tag{4}$$

が終局的に正の解をもたないための十分条件を求める. ここで, $H(t) \in C([t_0,\infty);\mathbb{R})$. 次のような仮定を考える :

(H5) $\rho(t,\xi) < t$;

(H6) 以下を満たす正の定数 h_0 が存在する

$$\int_\alpha^\beta h(t,\xi)d\eta(\xi) \le h_0 < 1.$$

また, ある連続関数 $\theta(t)$ について次の表記を用いる

$$[\theta(t)]_{\pm} = \max\{\pm\theta(t), 0\}.$$

まずは, 条件 (C1) のもとで関数微分不等式 (4) が終局的に正の解をもたないための十分条件を求める.

Theorem 3. 仮定 (H1)–(H6) および (C1) が成り立ち, 以下の仮定が成り立つとする :

(H7) $\lim_{t\to\infty} \Theta(t) = 0$ および $(p(t)\Theta'(t))' = H(t)$ を満たす連続関数 $\Theta(t)$ が存在する.

もし正数 $c > 0$ および任意の $t_0 > 0$ において

$$\int_{t_0}^{\infty} \int_{\gamma}^{\delta} Q(t,\zeta)\varphi\left([c + \Theta(\sigma(t,\zeta))]_+\right) d\omega(\zeta)dt = \infty \tag{5}$$

が成り立つならば, 微分不等式 (4) は終局的に正の解をもたない.

次に, 条件 (C2) のもとで関数微分不等式 (4) の終局的に正の解をもたないための十分条件を求める. 次の Lemma (Kusano と Naito[1] 参照) が必要になる.

Lemma. 仮定 (H1)–(H7) および (C2) が成り立つとする. もしも $y(t)$ が関数微分不等式 (4) の終局的に正の解で, $z(t)$ が以下で定義され

$$z(t) = y(t) - \int_{\alpha}^{\beta} h(t,\xi)y(\rho(t,\xi))d\eta(\xi) - \Theta(t) \tag{6}$$

$z(t)$ が正であるとすると, この $z(t)$ は次の不等式を満たす

$$p(t)z'(t)\pi(t) + z(t) \geq 0, \tag{7}$$

ここで,

$$\pi(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{p(s)} ds.$$

Theorem 4. 仮定 (H1)–(H7) および (C2) が成り立つとする. もし正数 $c > 0$ および任意の $t_0 > 0$ において

$$\int_{t_0}^{\infty} \pi(t) \int_{\gamma}^{\delta} Q(t,\zeta)\varphi\left([c\pi(\sigma(t,\zeta)) + \Theta(\sigma(t,\zeta))]_+\right) d\omega(\zeta)dt = \infty \tag{8}$$

が成り立つならば, 微分不等式 (4) は終局的に正の解をもたない.

条件 (C1) における双曲型方程式 (1) の解の振動条件

Theorem 5. 仮定 (H1)–(H6) および (C1) が成り立ち, さらに以下の仮定が成り立つとする :

(H8) $\lim_{t\to\infty}\theta(t)=0$ および $(p(t)\theta'(t))'=G(t)$ を満たす $\theta(t)$ が存在する.

もし正数 $c>0$ および任意の $t_0>0$ において

$$\int_{t_0}^{\infty}\int_{\gamma}^{\delta} Q(t,\zeta)\varphi\left([c\pm\theta(\sigma(t,\zeta))]_+\right)d\omega(\zeta)dt=\infty \tag{9}$$

が成り立つならば, 境界値問題 (1), (B_1) のすべての解 u は Ω において振動する.

Theorem 6. 仮定 (H1)–(H6) および (C1) が成り立ち, さらに以下の仮定が成り立つとする :

(H9) $\lim_{t\to\infty}\theta(t)=0$ および $(p(t)\theta'(t))'=\tilde{G}(t)$ を満たす $\theta(t)$ が存在する.

もし (9) が成り立つならば, 境界値問題 (1), (B_2) のすべての解 u は Ω において振動する.

条件 (C2) における双曲型方程式 (1) の解の振動条件

Theorem 7. 仮定 (H1)–(H6), (H8) および (C2) が成り立つとする. もし正数 $c>0$ および任意の $t_0>0$ において

$$\int_{t_0}^{\infty}\pi(t)\int_{\gamma}^{\delta} Q(t,\zeta)\varphi\left([c\pi(\sigma(t,\zeta))\pm\theta(\sigma(t,\zeta))]_+\right)d\omega(\zeta)dt=\infty \tag{10}$$

が成り立つならば, 境界値問題 (1), (B_1) のすべての解 u は Ω において振動する.

Theorem 8. 仮定 (H1)–(H6), (H9) および (C2) が成り立つとする. もし (10) が成り立つならば, 境界値問題 (1), (B_2) のすべての解 u は Ω において振動する.

References

[1] T. Kusano and M. Naito, Nonlinear oscillation of second rder differential equations with retarded arguments, Ann. Mat. Pura Apll., (4) **106** (1975), 171–185.

[2] S. Tanaka, Oscillation criteria for a class of second order forced neutral differential equations, Math. J. Toyama Univ., **27** (2004), 71–90.

[3] S. Tanaka and N. Yoshida, Forced oscillation of certain hyperbolic equations with coutinuous distributed deviating arguments, Ann. Polon. Math., **85** (2005), 37–54.

[4] Y. Tao and N. Yoshida, Oscillation of nonlinear hyperbolic equations with distributed deviating arguments, Toyama Math. J., **28** (2005), 27–40.

[5] N. Yoshida, Oscillation criteria for a class of hyperbolic equations with functional arguments, Kyungpook Math. J., **41** (2001), 75–85.

関数変数をもつ非線形放物型方程式系の解の振動性*

機能機械工学科　正角　豊

次の関数変数放物型方程式系の解が振動する十分条件を求める.

$$
\begin{aligned}
(1)\quad & \frac{\partial}{\partial t}\left(U(x,t)+\sum_{i=1}^{l}h_i(t)U(x,\rho_i(t))\right)-A(t)\Delta U(x,t)\\
&-\sum_{i=1}^{K}B_i(t)\Delta U(x,\tau_i(t))+\sum_{i=1}^{m}Q_i(x,t)\varphi_i\left(U(x,\sigma_i(t))\right)=0,\\
&\qquad\qquad (x,t)\in\Omega\equiv G\times(0,\infty),
\end{aligned}
$$

ここで, Δ は $\mathbb{R}^n$ におけるラプラシアン, G は区分的に滑らかな境界 ∂G をもつ $\mathbb{R}^n$ における有界領域である. また

$$
\begin{aligned}
&A(t)=(a_{jk}(t))_{j,k=1}^{M},\ B_i(t)=(b_{ijk}(t))_{j,k=1}^{M},\ Q_i(x,t)=(q_{ijk}(x,t))_{j,k=1}^{M},\\
&U(x,t)=(u_1(x,t),...,u_M(x,t))^T,\\
&U(x,\rho_i(t))=(u_1(x,\rho_i(t)),...,u_M(x,\rho_i(t)))^T,\\
&U(x,\tau_i(t))=(u_1(x,\tau_{i1}(t)),...,u_M(x,\tau_{iM}(t)))^T,\\
&\varphi_i(U(x,\sigma_i(t)))=(\varphi_{i1}(u_1(x,\sigma_i(t))),...,\varphi_{iM}(u_M(x,\sigma_i(t))))^T
\end{aligned}
$$

であり, T は転置を表す. このとき, (1) は次のように記述することができる

$$
\begin{aligned}
(2)\quad & \frac{\partial}{\partial t}\Big(u_j(x,t)+\sum_{i=1}^{l}h_i(t)u_j(x,\rho_i(t))\Big)\\
&-\sum_{k=1}^{M}a_{jk}(t)\Delta u_k(x,t)-\sum_{i=1}^{K}\sum_{k=1}^{M}b_{ijk}(t)\Delta u_k(x,\tau_{ik}(t))\\
&+\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{M}q_{ijk}(x,t)\varphi_{ik}(u_k(x,\sigma_i(t)))=0,\ (x,t)\in\Omega,\ (j=1,2,...,M).
\end{aligned}
$$

境界条件として次の (B_1) または (B_2) を考える :

$$
\begin{aligned}
&(\mathrm{B}_1)\qquad u_j(x,t)=0\quad\text{on}\quad\partial G\times[0,\infty),\\
&(\mathrm{B}_2)\qquad \frac{\partial u_j}{\partial\nu}(x,t)+\mu_j(x,t)u_j(x,t)=0\quad\text{on}\quad\partial G\times[0,\infty),
\end{aligned}
$$

*第 168 回 AP Seminar(富山解析セミナー 2007)
2007 年 9 月 29 日

ここで, ν は ∂G における外向き単位法線ベクトルである. また, $\mu_j(x,t) \in C(\partial G \times [0,\infty); [0,\infty))$ $(j = 1, 2, \ldots, M)$.

微分方程式系の解の振動条件について求めた結果は多い. しかし, そのほとんどが線形の方程式系を扱っており, 非線形の方程式系を扱ったものは Shoukaku and Yoshida [5], [6] しかなかった. そこで今回は, 強制項を持たない非線形放物型方程式系の解の振動条件を Shoukaku and Yoshida [4] の結果をもとに求めた Shoukaku [3] で扱っている方程式系をさらに一般化した方程式系 (1) の解の振動条件を求める. 以下の仮定が成り立つとする :

(H1) $h_i(t) \in C^1([0,\infty); [0,\infty))$ $(i = 1, 2, \ldots, l)$,
$a_{jk}(t) \in C([0,\infty); [0,\infty))$ $(j, k = 1, 2, \ldots, M)$,
$b_{ijk}(t) \in C([0,\infty); [0,\infty))$ $(i = 1, 2, \ldots, K; j, k = 1, 2, \ldots, M)$,
$q_{ijk}(x,t) \in C(\overline{\Omega}; [0,\infty))$ $(i = 1, 2, \ldots, m; j, k = 1, 2, \ldots, M)$;

(H2) $\rho_i(t) \in C^1([0,\infty); \mathbb{R})$, $\lim_{t\to\infty} \rho_i(t) = \infty$ $(i = 1, 2, \ldots, l)$,
$\tau_{ik}(t) \in C([0,\infty); \mathbb{R})$, $\lim_{t\to\infty} \tau_{ik}(t) = \infty$ $(i = 1, 2, \ldots, K; k = 1, 2, \ldots M)$,
$\sigma_i(t) \in C([0,\infty); \mathbb{R})$, $\lim_{t\to\infty} \sigma_i(t) = \infty$ $(i = 1, 2, \ldots, m)$;

(H3) $\varphi_{ik}(s) \in C(\mathbb{R}; \mathbb{R})$, $\varphi_{ik}(-s) = -\varphi_{ik}(s)$, $\varphi_{ik}(s) \geq 0$ for $s \geq 0$ また, $\varphi_{ik}(s)$ $(i = 1, 2, \ldots, m; k = 1, 2, \ldots, M)$ は $(0,\infty)$ において凸関数である ;

(H4) $a_{kk}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} a_{jk} \geq 0$ $(k = 1, 2, \ldots M)$;

(H5) $b_{ikk}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} a_{ijk} \geq 0$ $(i = 1, 2, \ldots, K; k = 1, 2, \ldots M)$;

(H6) $q_{ikk}(x,t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} q_{ijk}(x,t) \geq 0$ $(i = 1, 2, \ldots, m; k = 1, 2, \ldots, M)$,

$$\hat{q}_i(t) = \min_{x\in\overline{G}} \left\{ \min_{1\leq k\leq M} \left(q_{ikk}(x,t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} q_{ijk}(x,t) \right) \right\} ;$$

(H7) $t \leq \rho_i(t)$ $(i = 1, 2, \ldots, l)$;

(H8) $\hat{\varphi}_i(\xi) \equiv \min_{1\leq k\leq M} \varphi_{ik}(\xi)$ $(i = 1, 2, \ldots, m)$ は $(0,\infty)$ において非減少かつ凸関数である.

固有値問題

$$\begin{aligned} &\Delta w + \lambda w = 0 \qquad \text{in} \quad G, \\ &w = 0 \qquad \text{on} \quad \partial G \end{aligned}$$

の最小固有値 λ_0 は正であり, 対応する固有関数 $\Phi(x)$ は G において $\Phi(x) > 0$ とできる.

Definition 1. ベクトル関数 $u_j(x,t) = \{u_1(x,t), \ldots, u_M(x,t)\}^T \in C^2(\overline{G} \times [t_{-1}, \infty); \mathbb{R}) \cap C^1(\overline{G} \times [\hat{t}_{-1}, \infty); \mathbb{R}) \cap C(\overline{G} \times [\tilde{t}_{-1}, \infty); \mathbb{R})$ が方程式系 (2) の**解**であるとは, 方程式系 (2) を Ω において満たすことである, ここで,

$$\begin{aligned} t_{-1} &= \min\left\{0, \min_{\substack{1\le i\le K \\ 1\le k\le M}} \left\{\inf_{t\ge 0} \tau_{ik}(t)\right\}\right\}, \\ \hat{t}_{-1} &= \min\left\{0, \min_{1\le i\le l} \left\{\inf_{t\ge 0} \rho_i(t)\right\}\right\}, \\ \tilde{t}_{-1} &= \min\left\{0, \min_{1\le i\le m} \left\{\inf_{t\ge 0} \sigma_i(t)\right\}\right\}. \end{aligned}$$

Definition 2. ベクトル解 $u_j(x,t) = \{u_1(x,t), \ldots, u_M(x,t)\}^T$ が Ω において**振動 (弱振動) する**とは, $u_j(x,t)$ の少なくとも一つの非自明な要素が任意の零点をもつことである. またそうでないとき, ベクトル解 $u_j(x,t)$ は非振動解であるという.

1. 非線形関数変数放物型方程式系

以下の表記を用いる :

$$U_1(t) = U(t) + \sum_{i=1}^{l} h_i(t) U(\rho_i(t)), \quad U_2(t) = \tilde{U}(t) + \sum_{i=1}^{l} h_i(t) \tilde{U}(\rho_i(t)),$$

ここで

$$U(t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} K_\Phi \int_G u_j(x,t)\Phi(x)dx, \quad \tilde{U}(t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} \frac{1}{|G|} \int_G u_j(x,t)dx,$$

であり, $K_\Phi = (\int_G \Phi(x)dx)^{-1}$ また $|G| = \int_G dx$ とする.

Theorem 1. 仮定 (H1)–(H8) が成り立ち, さらに以下が成り立つ :

(H9) $\displaystyle\sum_{i=1}^{l} h_i(t) \le 1$;

(H10) $s_1 \geq 0$, $s_2 > 0$ において $\hat{\varphi}_{j_0}(s_1 s_2) \geq \hat{\varphi}_{j_0 1}(s_1)\hat{\varphi}_{j_0 2}(s_2)$ となる整数 $j_0 \in \{1, 2, \ldots, m\}$が存在する, ここで $\hat{\varphi}_{j_0 1}(s_1) \geq 0$, $\hat{\varphi}_{j_0 2}(s_2) > 0$ また, $s_2 > 0$ において $\hat{\varphi}_{j_0 2}(s_2)$ は非減少である.

もし微分不等式

$$y'(t) + \hat{q}_{j_0}(t)\hat{\varphi}_{j_0 1}\left(1 - \sum_{i=1}^{l} h_i(\sigma_{j_0}(t))\right)\hat{\varphi}_{j_0 2}(y(\sigma_{j_0}(t))) \leq 0 \tag{3}$$

のすべての終局的に正の解 $y(t)$ が $\lim_{t\to\infty} y(t) = 0$ を満たすならば, このとき境界値問題 (2), (B_1) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動するか, または

$$\lim_{t\to\infty} U_1(t) = 0. \tag{4}$$

Theorem 2. 仮定 (H1)–(H10) が成り立つ. もし微分不等式 (3) のすべての終局的に正の解 $y(t)$ が $\lim_{t\to\infty} y(t) = 0$ を満たすならば, このとき境界値問題 (2), (B_2) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動するか, または

$$\lim_{t\to\infty} U_2(t) = 0. \tag{5}$$

2. 線形関数変数放物型方程式系

次に以下の線形放物型方程式系を考える

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t}\left(U(x,t) + \sum_{i=1}^{l} H_i(t)U(x,\rho_i(t))\right) - A(t)\Delta U(x,t) \\ - \sum_{i=1}^{K} B_i(t)\Delta U(x,\tau_i(t)) + \sum_{i=1}^{m} Q_i(x,t)U(x,\sigma_i(t)) = 0, \\ (x,t) \in \Omega \equiv G \times (0,\infty),\end{aligned} \tag{6}$$

ここで $H_i(t) = (h_{ijk}(t))_{j,k=1}^{M}$ であり, (1) と同様に (6) は以下のように記述することができる

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t}\Big(u_j(x,t) + \sum_{i=1}^{l}\sum_{k=1}^{M} h_{ijk}(t)u_k(x,\rho_i(t))\Big) \\ - \sum_{k=1}^{M} a_{jk}(t)\Delta u_k(x,t) - \sum_{i=1}^{K}\sum_{k=1}^{M} b_{ijk}(t)\Delta u_k(x,\tau_{ik}(t)) \\ + \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{M} q_{ijk}(x,t)u_k(x,\sigma_i(t)) = 0,\ (x,t) \in \Omega,\ (j = 1,2,...,M).\end{aligned} \tag{7}$$

Theorem 3. 仮定 (H1)–(H9) が成り立ち, さらに以下が成り立つ :

(H11) $h_{ikk}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{M} h_{ijk}(t) \geq 0$;

(H12) $\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{M} \tilde{h}_{ij}(t) \leq 1, \qquad$ ここで, $\quad \tilde{h}_{ij}(t) = \max_{1\leq k\leq M} h_{ijk}(t).$

もし微分不等式

$$y'(t) + \hat{q}_{j_0}(t)\left(1 - \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{M} \tilde{h}_{ij}(\sigma_{j_0}(t))\right) y(\sigma_{j_0}(t)) \leq 0 \tag{8}$$

が終局的に正の解をもたないならば, このとき境界値問題 (7), (B_1) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動する.

Theorem 4. 仮定 (H1)–(H9), (H11), (H12) が成り立つとする. もし微分不等式 (8) が終局的に正の解をもたないならば, このとき境界値問題 (7), (B_2) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動する.

3. 非線形放物型方程式系 (2) の振動条件

1 章の結果と Kitamura and Kusano [1] の結果を合わせると, 以下の定理を得る.

Theorem 5. 仮定 (H1)–(H10) が成り立つ. もし $R[\sigma_{j_0}] = \{t \in [0,\infty); 0 \leq \sigma_{j_0}(t) \leq t\}$ において

$$\int_{R[\sigma_{j_0}]} \hat{q}_{j_0}(t)\hat{\varphi}_{j_0 1}\left(1 - \sum_{i=1}^{l} h_i(\sigma_{j_0}(t))\right) dt = \infty \tag{9}$$

が成り立つならば, このとき境界値問題 (2), (B_1) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動するか, または (4) を満たす.

Theorem 6. 仮定 (H1)–(H10) が成り立つ. もし (9) が成り立つならば, このとき境界値問題 (2), (B_2) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動するか, または (5) を満たす.

4. 線形放物型方程式系 (7) の振動条件

2 章の結果と Koplatadze and Čanturija [2] の結果を合わせると, 以下の定理を得る.

Theorem 7. 仮定 (H1)–(H9), (H11), (H12) が成り立ち, さらに以下が成り立つ :

(H13) $\sigma_{j_0}(t) \le t,\ j_0 \in \{1,2,\dots,m\}$, また $\sigma_{j_0}(t)$ が $[t_0,\infty)$ において非減少である.

もし

$$\liminf_{t\to\infty} \int_{\sigma_{j_0}(t)}^{t} \hat{q}_{j_0}(s) \left(1 - \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{M} \tilde{h}_{ij}(\sigma_{j_0}(s))\right) ds > \frac{1}{e} \tag{10}$$

が成り立つならば, このとき境界値問題 (7), (B_1) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動する.

Theorem 8. 仮定 (H1)–(H9), (H11), (H12) および (H13) が成り立つ. もし (10) が成り立つならば, このとき境界値問題 (7), (B_2) のすべての解 $u_j(x,t)$ は Ω において振動する.

5. 非線形関数変数放物型方程式系の特別な場合

非線形放物型方程式系に対する境界値問題 (1), (B_1) の特別な場合として, 次を考える

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}\Big(u_j(x,t) + hu_j(x,t+\rho)\Big) - \sum_{k=1}^{M} a_{jk}(t)\Delta u_k(x,t) \\ + \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{M} q_{ijk}(x,t)\Big(u_k(x,t-\sigma)\Big)^{\gamma_k} = 0, \\ (x,t) \in (0,L)\times(0,\infty), \end{aligned} \tag{11}$$

$$u_j(0,t) = u_j(L,t) = 0,\ t > 0,\ j = \{1,2,\dots,M\}, \tag{12}$$

ここで $h(<1)$, ρ, σ は正定数であり, γ_k $(k = 1,2,\dots,M)$ は奇数整数の商である.

Corollary. 次の条件

$$\int^{\infty} \hat{q}_{j_0}(t)dt = \infty \tag{13}$$

が成り立つとき, 境界値問題 (11), (12) のすべての解 $u_j(x,t)$ は $(0,L)\times(0,\infty)$ において振動するか, または $\lim_{t\to\infty} U_1(t) = 0$, ここで

$$U_1(t) = \frac{1}{M}\left(\frac{\pi}{2L}\right)\sum_{j=1}^{M}\int_0^L \Big(u_j(x,t) + hu_j(x,t+\rho)\Big)\sin\left(\frac{\pi}{L}\right)x\ dx.$$

References

[1] Y. Kitamura and T. Kusano, *Oscillation of first-order nonlinear differential equations with deviating arguments*, Proc. Amer. Math. Soc. **78** (1980), 64–68.

[2] R. G. Koplatadze and T. A. Čanturija, *On oscillatory and monotone solutions of first order differential equations with deviating arguments*, Differential'nye Uravnenija **18** (1982), 1463–1465 (Russian).

[3] Y. Shoukaku, *Oscillation of the solutions of systems of nonlinear parabolic equations with functional arguments*, Tamkang J. Math., *In Press*.

[4] Y. Shoukaku and N. Yoshida, *Oscillatory properties of solutions of nonlinear parabolic equations with functional arguments*, Indian J. Pure appl. Math. **10** (2003), 1469–1478.

[5] Y. Shoukaku and N. Yoshida, *Oscillations of parabolic systems with functional arguments*, Toyama Math. J. **28** (2005), 105–131.

[6] Y. Shoukaku and N. Yoshida, *Oscillations of hyperbolic systems with functional arguments*, Applications and Applied Mathematics **1** (2006), 83–95.

振り子型摩擦試験機の製作

機能機械工学科　正角　豊

１．はじめに

私が所属する機能機械工学科では、３年生の後期に機械機能探求という、学生が自ら設定したテーマについて、設計／製作／研究／調査／測定など種々の形式で問題解決に取り組む授業があります。この授業で、学生から振り子型摩擦試験機の製作の補助と、どのように各材料（ゴム/木/アクリル/テフロン）の摩擦係数を平易に表示させることができるかの相談を受け、学生の装置製作に関わったので、今回はこのことを報告する。

２．振り子型摩擦試験機の設計

２．１　CAD による図面と装置概要

学生より手渡された装置の簡単な図面と装置についての要望から次のように設計した。

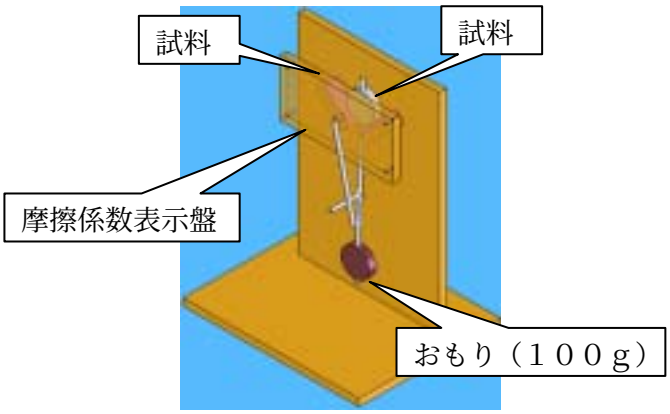


図 1.振り子型摩擦試験機イメージ

２．２　装置の製作

図面と図１のイメージから、次のような装置を製作した。

図 2.振り子型摩擦試験機と振り子

３．各摩擦係数について

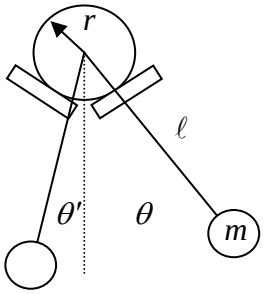


図 3.振り子概略

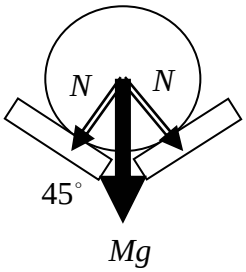


図 4.垂直抗力 N

エネルギー保存則(図 3 参照)から

$$mg\ell(1-\cos\theta)-mg\ell(1-\cos\theta') = 2\times\mu Nr(\theta+\theta') \quad (1)$$

また、図 4 より試料は 45° で接するように作ったので、垂直抗力 N は

$$N = Mg\cos 45^\circ \quad (2)$$

となる。ここで、M は振り子全体の重量(木 130 g、テフロン 150 g、アクリル 143 g、ゴム 139 g)、r は試料半径 20 ㎜、ℓ は 180 ㎜。したがって、(1)と(2)より摩擦係数 μ は

$$\mu = \frac{m\ell(\cos\theta'-\cos\theta)}{\sqrt{2}Mr(\theta'+\theta)} \quad (3)$$

となる。このとき、初期角度を $\theta = 30^\circ$ にし $\theta' = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ \cdots$ を(3)に代入することで、各摩擦係数が求まり、次のようになる。

θ	木	テフロン	アクリル	ゴム
0	1.25	1.09	1.14	1.17
5	1.04	0.90	0.95	0.98
10	0.83	0.72	0.76	0.78
15	0.62	0.52	0.57	0.58
20	0.41	0.36	0.38	0.39
25	0.21	0.18	0.19	0.19
30	0	0	0	0

４．各摩擦係数の表示結果について

装置より以下の結果を得た。

木	0.62	アクリル	0.38
テフロン	0.18	ゴム	0.78

５．まとめ

急いで製作したわりには、良く出来たと思う。

SEM 用標準試料の作製とその評価

物質化学工学科
杉山　博則

1．緒言

工学部物質化学工学科化学工学コースは、研究用として電界放出形走査電子顕微鏡（図 1）を保有しており、表面観察、構造解析および組成分析の各分野で有効利用されている。また、工学部物質化学工学科所属の研究室に限らず、他学科の研究室の利用もあり、走査電子顕微鏡の利用件数は近年増加傾向にある。（図 2）

現在、当学科で管理している電子顕微鏡は、導入から 12 年ほど経過している。そのため、経年によるパフォーマンスの低下や操作をパソコン制御で行うことができないなど多くの難点を抱えている。このような状況下で電子顕微鏡のパフォーマンスの維持していく事や、トラブル発生時に問題点を把握し対応できる態勢を整えておく事は重要である。また、研究をサポートする上で的確な操作法のアドバイスを行える状態を準備しておくことも必要である。

そこで、日々のメンテナンスや機器的なトラブルを把握するために用いる標準試料を作製した。作製した標準試料を用いて二次電子像、反射電子像および EDS による元素分析を行い、標準試料のメンテナンス用途に対する適合性の評価と電子顕微鏡の基本性能を再評価したので報告する。

図 1　電界放出形走査電子顕微鏡

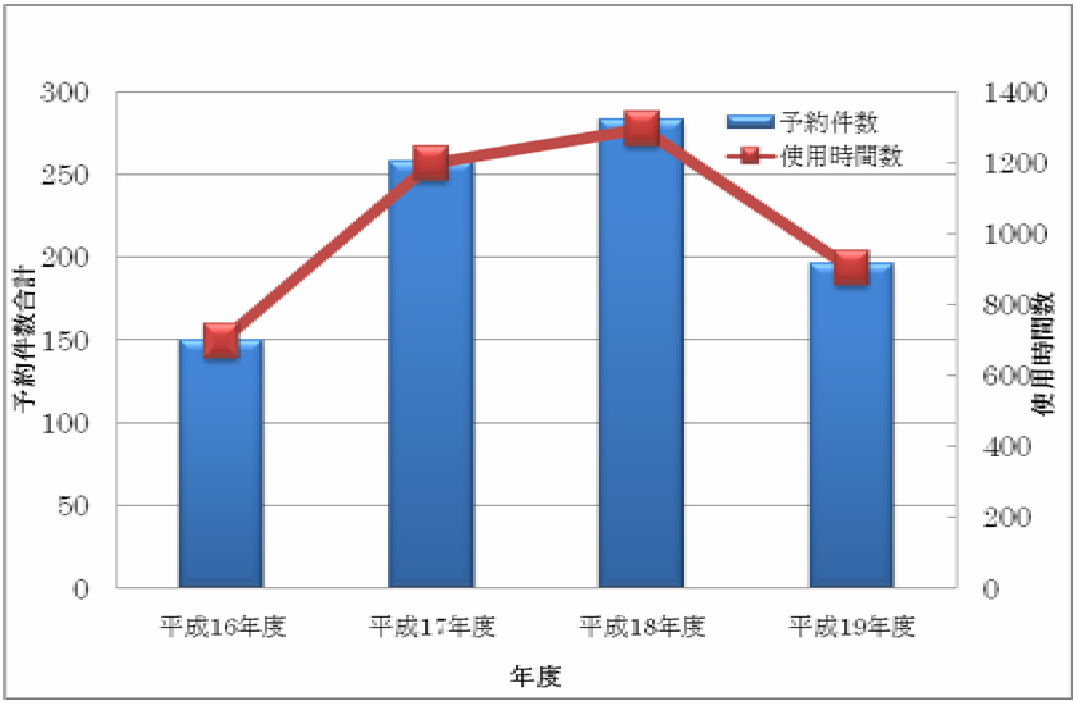


図 2　予約件数の年推移　(平成 19 年度は 10 月までの集計)

2．電子顕微鏡について

化学工学コースで管理する電界放出形走査電子顕微鏡は、株式会社日立ハイテクノロジーズ製 S-4500 形電界放出形走査電子顕微鏡である。表 1 に仕様を示した。本機の特長は冷陰極電界放出形電子銃にある。図 3 は電界放出形電子銃の構造を示した図である。細いタングステン線にタングステン単結晶が取り付けられている。また、その先端は 100nm 程度の太さに形成されている（これをエミッタと呼ぶ）。これに対向した位置に 2 枚の金属板(電極)が置かれており、一枚目の金属板に数 kV の電圧を印加すると、トンネル効果により、タングステン単結晶から電子が放出される。金属板の中央に穴をあけると放出された電子が流れ出すので、2 枚目の金属板に電圧を印加することで、電子を加速し、所定のエネルギーをもつ電子線を得ることができる。電界放出を起こすためにはエミッタの先端は清浄でなければならないので 10^{-8}Pa 程度の超高真空中におく必要がある。放出された電子線はあたかも、5－10nm の大きさの電子源から放出されたように振舞うので、高分解能像を得ることができる。また、電子線放出に加熱を行わないため、電子線のエネルギーのばらつきが少ないのも特徴である。表 2 に電界放出形電子銃を含めた各種電子銃の特徴を示す。

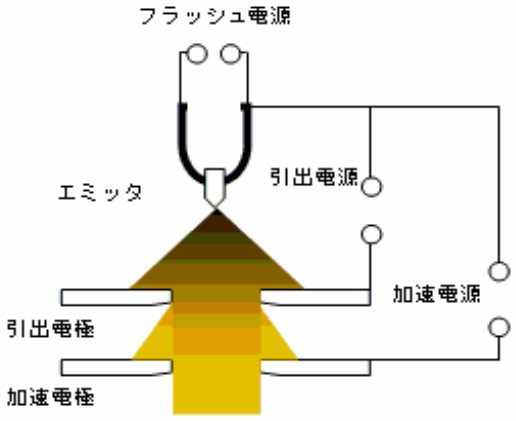


図 3　電界放出形電子銃 [2]

表 1　電子顕微鏡仕様 [1]

機種		走査電子顕微鏡　S-4500 形
分解能		1.5nm(加速電圧 15kV　WD=4mm) 4.0nm(加速電圧 1kV　WD=3mm)
倍率		×50－×500,000
電子工学系	電子銃	冷陰極電界放出形電子銃
	加速電圧	0.5－30kV
	レンズ系	3 段電磁レンズ縮小方式
	対物レンズ絞り	可動絞り
	非点補正コイル	電磁方式
	走査コイル	2 段電磁偏向方式

表 2　各種電子銃の特徴 [2]

	熱電子銃		電界放出電子銃	ショットキー電子銃
	タングステン	LaB_6		
光源サイズ	15－20μm	10μm	5－10nm	15－20nm
エネルギー幅（eV）	3－4	2－3	0.3	0.7－1
寿命	50h	500h	数年	1-2 年
陰極温度（K）	2800	1900	300	1800
電流変動（1 時間当たり）	＜1%	＜2%	＞10%	＜1%

3．元素分析について [2,3]

物質に電子が入射したときに放出される蛍光 X 線を検出することで元素分析を行うことができる。図 4 に蛍光 X 線の発生原理を示す。入射電子によって内殻の電子が弾き飛ばされ、空位となった軌道を外殻の電子が埋めると、差のエネルギーをもった X 線が発生する。この X 線が蛍光 X 線と呼ばれる。蛍光 X 線は元素特有のエネルギー（波長）を持つため、元素分析に利用される。K 殻の電子が励起されて発生する蛍光 X 線を K 線とよび、L 殻、M 殻の場合をそれぞれ L 線、M 線と呼ぶ。蛍光 X 線のエネルギーは、重元素（陽子数が多い）ほど大きくなり、励起するのには高いエネルギーをもつ入射電子が必要になる。

SEM での元素分析法のほとんどは、エネルギー分散形 X 線分光器を使った X 線分光法である。エネルギー分散 X 線分光法（Energy Dispersive X-Ray Spectrometry : EDS）はひとつの分光器で ^{5}B～^{92}U までの全元素を分析することができ、容易に多元素を同時分析することが可能である。しかし、得られるスペクトルはバックグラウンドが高く、検出感度が低い事やエネルギー幅が広く、ピークの重なりが多くなるなどの弱点もある。よって、EDS は試料の概観をつかむような分析に用いられる。より、高精度が要求されるような元素分析には、大きなプローブ電流を必要とするが、波長分散 X 線分光法（Wavelength Dispersive X-Ray Spectrometry : WDS）などが利用される。

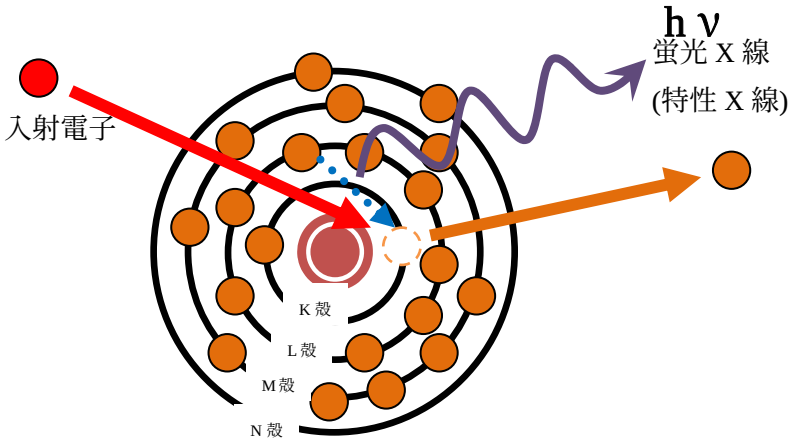


図 4　蛍光 X 線の発生原理

4．標準試料作製方法

4-1　ポリスチレン微粒子標準試料の作製

良好な二次電子像を得るために必要な非点収差（スティグマ）の調節や日常の整備をするために JSR 株式会社製 STADEX を用いてポリスチレン粒子標準試料を作製した。粒径 0.10、0.50、1.0 および 2.0μm のポリスチレン粒子を用いた。ポリスチレン粒子懸濁液を 10 倍程度に水で薄めた希釈ポリスチレン懸濁液を作製し試料液とした。板厚 1.0mm×幅 10mm×長さ 10mm のステンレス鋼板を試料基板として用いた。試料基板上に試料液を 1－2 滴滴下したのち、過剰分を取除いた。その後、ステンレス鋼板をドライヤーにて穏やかに加熱し、乾燥させた。さらに、導電性を高めるため、日立 E-1030 イオンスパッタリング装置を用いて、金をターゲット金属としてスパッタリングを行った。スパッタリングは、チャンバー内真空度 6.0Pa、電流値 15mA、スパッタ時間 5 分の条件で行った。金スパッタリングの特性より、金の膜厚は約 57nm と算出された。

4-2　ペレット状金属試料の作製

反射電子像とエネルギー分散形 X 線分析装置の定性分析マッピング像を得るための標準試料として、粒径 10－100μm の数種類の金属粉末を用いた試料を作製した。金属粉末として、Co、Ni、Cu、Mo、Sn および W を用いた。表 3 に、ペレット状金属試料の各金属粉末の含有量と含有割合を示す。金属粉末を均一になるように混合した。その後、600kg/cm^2 の圧力で 15 分間圧縮成型しペレット状にした。図 5 はペレット状金属試料の写真である。圧縮成型後試料の直径は約 10mm、厚さは約 2mm であった。

表 3　ペレット状金属試料　金属含有量と割合

元素	含有量 ／ mg	含有割合 ／ wt%
Co	43.3	3.0
Ni	43.2	3.0
Cu	1051.0	72.5
Mo	78.7	5.4
Sn	148.8	10.3
W	84.9	5.9

図 5　ペレット状金属試料

5．観察結果および考察

5-1　ポリスチレン微粒子標準試料

二次電子像の撮影を行った。試料に電子が入射したときに、試料を構成する原子の価電子が放出されたものが二次電子である。二次電子は、エネルギーが極めて小さいため、試料の奥深い場所で生成されたものは試料中に吸収されてしまう。このため、試料の極表面で生成されたものだけが試料外に放出される。このため、二次電子像は表面の状態に敏感な画像となる。図 6 は粒径 2μm のポリスチレン粒子標準試料である。得られた画像の状態は良好であった。また、ポリスチレン粒子が大規模に凝集を起している部分もなく適度に分散しているのを確認することができ、容易に粒子を探すことが可能であった。さらに、二次電子像観察中は、チャージアップを起すことはなかった。

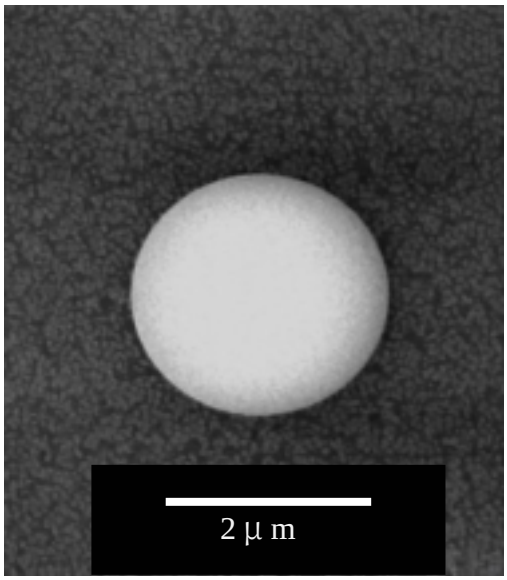


図 6　粒径 2μm のポリスチレン粒子

ポリスチレン粒子の形状は球形であり出力画像に歪みがないことを確認することができた。また、ポリスチレン粒子の大きさと画面右下に表示されるスケールが一致していることから表示されている画像と実物との間に差がなく、機器的に良好なパフォーマンスを保っていることを確認した。

図 7 に倍率 15000 倍で観察した 1μm および 2μm のポリスチレン粒子を示す。3 個の粒子が凝集している様子を確認できた。粒子表面の様子がよく観察でき、金スパッタリングにより表面が荒くなった様子が確認された。図 8 は倍率 35000 倍で観察した粒径 1μm のポリスチレン粒子の二次電子像である。粒子表面は滑らかではなく、50－80nm の凹凸を確認することができた。また、ポリスチレン粒子の周囲にスパッタされた金と思われる十数ナノサイズの微粒子を確認することができた。

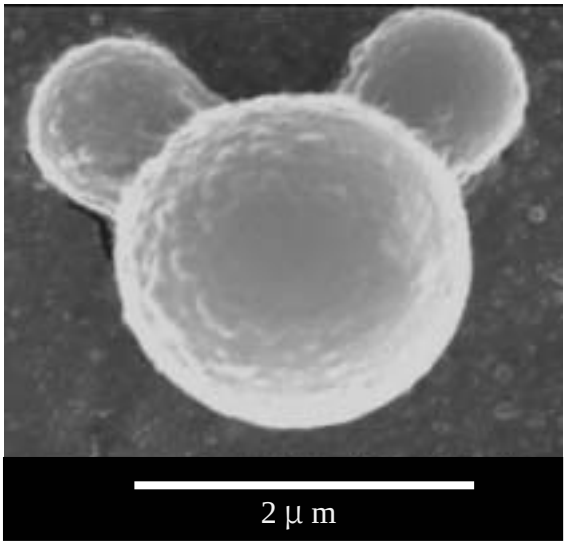


図 7　粒径 1 および 2μm の
ポリスチレン粒子

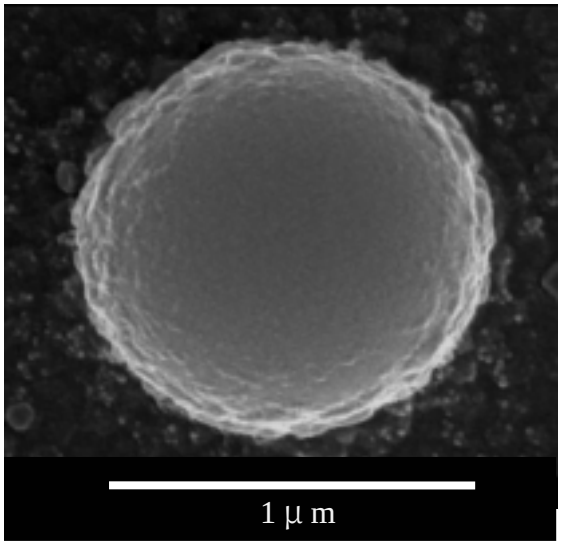


図 8　粒径 1μm のポリスチレン粒子

図 9 は倍率 3 万倍で観察した粒径 500nm のポリスチレン粒子である。7 個の粒子が六角形を形成している様子を確認することができた。同じサイズの粒子の大半は、3－6 個程度にまとまって存在していた。図 10 は倍率 15 万倍で観察した粒径 500nm のポリスチレン粒子である。粒子の輪郭が毛羽立ったような二次電子像が得られた。これは、SEM 鏡体周囲に設置してあるロータリーポンプ、コンプレッサーや循環水による振動の影響を受けているものと考えられる。試料室内での試料ホルダーの固定方法や試料微動装置のロック等、振動の影響を低減させるための対策を講じる必要がある。

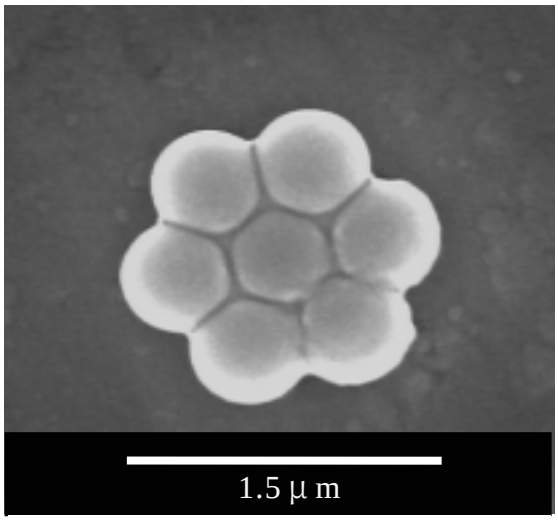


図 9　粒径 500nm のポリスチレン粒子

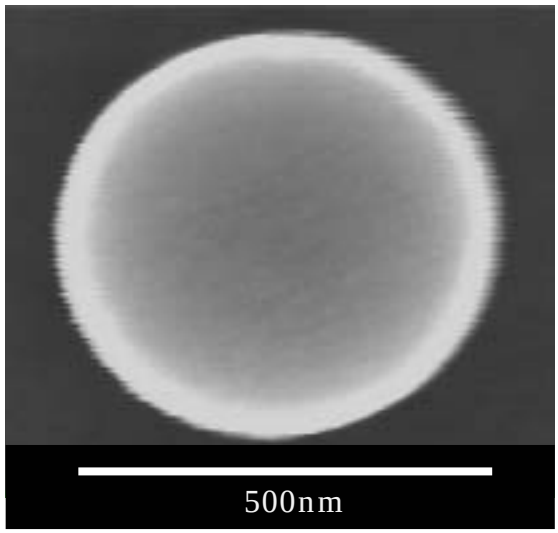


図 10　粒径 500nm のポリスチレン粒子

図 11 は粒径 100nm のポリスチレン粒子である。スパッタリングされた金の量が多いため、厚い金膜に粒子が覆われている様子が確認された。試料の凹凸に合わせて、金のスパッタ量を調節する必要がある。今回、スパッタされた金の膜厚は金のスパッタリング特性より、約 57nm と算出されている。100nm のポリスチレン粒子にとって約 57nm の金膜は、非常に厚く、粒子の観察を困難にするということが分かった。しかし、粒径 500nm のポリスチレン粒子が良好に観察されていることから、スパッタ成膜による金属の膜厚を試料サイズの 10 分の一程度に調節することで良好な画像を得られると考えられる。これらの結果よりナノオーダーサイズの粒子を観察する際には、スパッタ成膜する金属の膜厚に注意して試料を調節する必要があることを認識できた。さらに、観察目的物質のサイズの 10 分の一程度を成膜量の目安とすることで良好な画像を得られることが分かった。

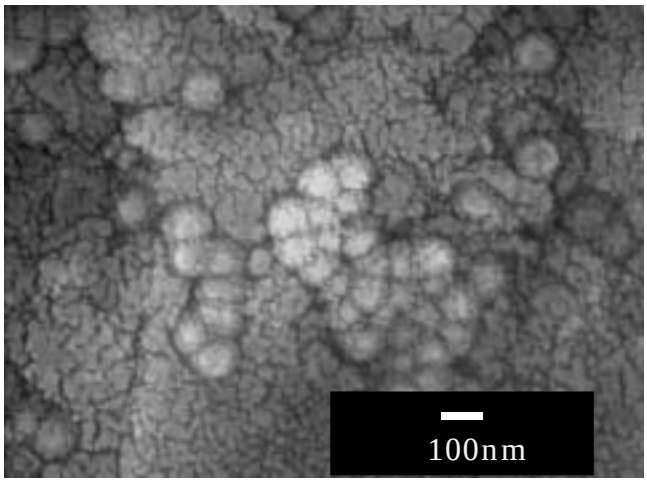


図 11　粒径 100nm のポリスチレン粒子

5-2　ペレット状金属試料

ペレット状金属試料を用いて反射電子像と二次電子像を観察し、画像の差について検討した。反射電子は、入射電子が試料中で散乱していく過程で後方の散乱し、試料表面から再び放出されたもので、後方散乱電子とも呼ばれる。二次電子に比べて高いエネルギーをもっているので、比較的試料の奥からの情報を持っている。図 12 はペレット状金属試料の同じ位置における(a) 二次電子像　(b) 反射電子凹凸像 (c) 反射電子組成像である。反射電子像は二次電子像と反射電子像とでは、出力される画像に明らかな差が認められた。二次電子像では、立体感に乏しい画像が得られたのに対して反射電子像では、より立体感をもつ画像が得られた。反射電子は鏡面反射方向に強い強度を持つ性質があるため、二次電子像では捉えることができない試料表面の滑らかな凹凸を感度良く観察することができる。また、試料の組成に対しても敏感であるため、同じ反射電子像でも観察モードを変更することで、凹凸像と組成像の 2 種類の画像を得ることができる。図 12(b)および(c)は、反射電子凹凸像および反射電子組成像である。組成像では、滑らかな凹凸は無くなってしまう代わりに、凹凸像では見られなかった、物質ごとのコントラストや明るさの違いが認められた。反射電子の強度は試料を構成する物質の元素番号に依存し、原子番号が大きいほど、強度は強くなる。すなわち、重い元素で構成されている部分ほど、明るい画像となる。図 12(c)の反射電子組成像から、最も白い部分が Sn または W で構成されていると考えられる。しかし、元素を同定するためには画像の明るさやコントラストの違いだけでは不十分であり、他の分析方法と組み合わせて行う必要がある。

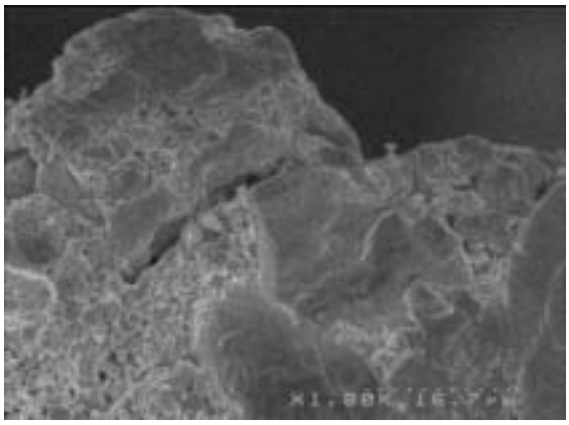


図 12(a)　二次電子像

図 12(b)　反射電子凹凸像

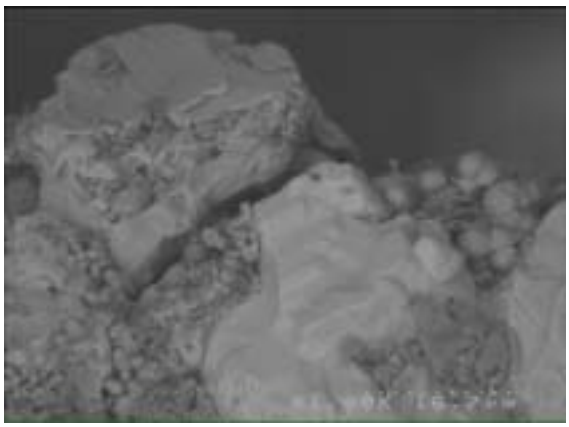


図 12(c)　反射電子組成像

反射電子は二次電子とは異なる情報を持っているため、得られる画像には大きな違いがみられる。特に、構成している物質の組成や凹凸を観察する目的には二次電子像より適していると考えられる。

日立 S-4500 形走査電子顕微鏡に備え付けてある HORIBA 社製エネルギー分散形 X 線分析装置（EMAX-5770W）を用いて元素分析を行った。 図 13 はペレット状金属試料の(a)二次電子像および(b)二次電子像と同じ位置の EDS マッピング像である。蛍光 X 線を発生させるために高いエネルギーを必要とするため、加速電圧を 25kV に変更して行った。本来、エネルギー分散形 X 線分析装置の分析によって得られる画像は、単一元素の分布のみである。よって、図 13(b)は、画像処理ソフトにより、各元素のマッピング画像を重ね合わせて再構成した画像である。なお、図 13(b)を作成するために用いたソフトは、Excel 2007 である。二次電子像とマッピング画像との間に良い一致を確認することができ、元素分析に十分耐えられる性能があることが確認された。EDS は検出感度が低く、エネルギー分解能も高くないため、良好なマッピング画像を得るためには、分析を行う元素については数%含まれている必要がある。良好なマッピング画像を得られたことから、作製した試料の元素割合は EDS を行う上では最適なものであったといえる。

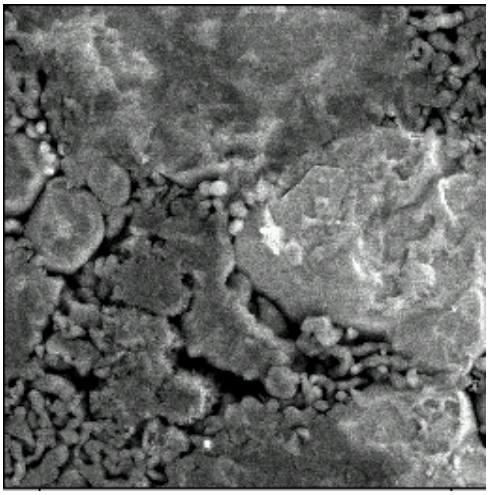


図 13(a)　ペレット状試料　二次電子像

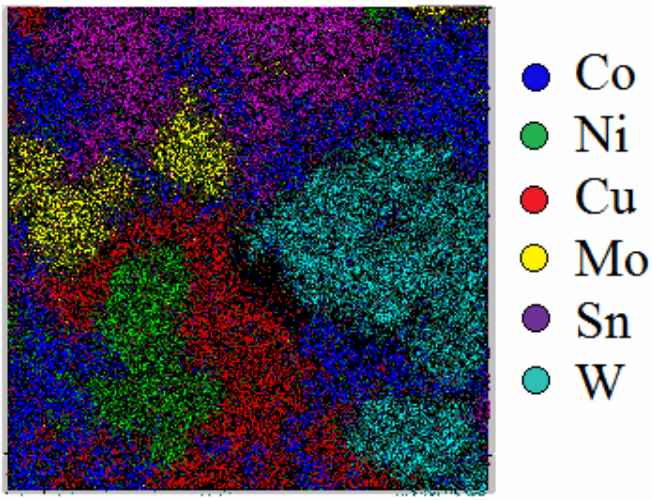


図 13(b)　ペレット状試料 EDS マッピング像

今回は二次電子像とマッピング像の比較を行い、二次電子像とマッピング像との間に良い一致を確認することができた。今後、定性分析の信頼性を確認するため、反射電子組成像と EDS マッピング像の比較や画像の重ね合わせ方法について検討し、SEM の分析能力を高める工夫をする必要がある。また、定性分析以外の定量分析や線分析などについて、効果的な分析方法を検討してその性能を検討していきたいと思う。

今回はペレット状に圧縮成型した金属試料を用いて反射電子像を観察した。その結果、反射電子像の試料組成や凹凸等に対する有効性を見出すことができた。今後は、より結晶性の高い試料を用いた反射電子像観察を行い、金属材料等の分野で SEM を活用できる態勢を整えたいと考えている。

6．まとめ

今回作製したポリスチレン微粒子標準試料の分散状態は良好であり、これを用いることで、日常の整備を行うことができることが確認された。特に、粒径 1μm－2μm のポリスチレン粒子の画像状態は良く、以後 SEM の整備に役立てたいと思う。また、鏡体周囲に設置してあるロータリーポンプ、コンプレッサーおよび冷却水循環装置から振動を拾ってしまうため、倍率を高くするほど解像力が低下してしまう事が分かった。振動を低減させ、15 万－30 万倍程度の画像を保証できるように対策を講じる必要がある。また、導電性を得るための前処理として金属スパッタリングを行い試料表面上に金属膜を形成している。その際に試料サイズの 10 分の一程度に膜厚を調節することで、良好な画像を得ることが分かった。これにより、スパッタする金属の成膜量の目安を知ることができた。

ペレット状試料の観察から反射電子像と二次電子像に明確な違いが明らかとなり、反射電子像は、二次電子像に比べ滑らかな凹凸や組成の違いを観察する目的に対して有効であるということが分かった。利用者に対して、反射電子像と二次電子像の違いについて情報公開し、観察目的によって使い分けることを勧めていきたいと考えている。

今回作製した試料を分析したことで S-4500 形走査電子顕微鏡に備え付けてある HORIBA 社製エネルギー分散形 X 線分析装置（EMAX-5770W）の性能を確かめることができた。今後は、この装置についてさらに応用的な分析方法の性能を検討していきたいと思う。

今後は、新たな試料を作製して反射電子像の金属材料や無機材料の分野での有効性を検討したいと考えている。

7．参考文献

1　株式会社　日立製作所：S-4500 形　走査電子顕微鏡取扱説明書
2　JEOL：SEM を使うための基礎知識
3　奥　健夫：これならわかる電子顕微鏡、化学同人（2004）

技術職員　一年生

環日本海域環境研究センター
松 本　有 加

まえがき

技術職員一年生である私は，この８か月の間にいろんなことに初挑戦しました。技術の報告にはなっていないかもしれませんが，取り組んだ仕事について，いくつか報告できればいいなと思います。

1. 所属部門

はじめに私の所属部門の紹介をしたいと思います。「環日本海域環境研究センター　生体機能計測研究部門」といって〝磁気〟を用いた探傷センサや，〝磁界〟が生体に与える影響についての研究をしている，磁気関連の研究室です。

環境研究センターなのにあまり環境と関係ないではないか．と思われる方もおられるかもしれません。環境研究と聞くと，大抵の方はオゾン層の破壊や酸性雨といった地球規模の環境問題を思い浮かべることと思います。しかし人を取り巻く環境の中には様々ものがあり，この部門で取り扱っているのは主に電磁環境の分野についてです。

例えば，小さな傷を正確にいち早く見つけ出すための磁気センサは，原子力発電所のパイプや，ジェットコースターの金具などの探傷に用い，安全環境の整備に貢献します。磁界の生体への影響評価は，磁界をかけることで骨の生成が活発になることが言われており，将来的に医療への応用が考えられています。

このように磁気を用いた様々な研究が行われているところで，仕事をしています。

2. 学生実験

技術職員として，最初に取り組んだ仕事は電気電子システム工学科の学生実験でした。機器実験室で大きなモーターの特性測定の実験をします。「変圧器・直流機・誘導機」これら３つの機器について試験回路を作成し，始動・停止を体験してもらい，特性を取るという簡単なものです。しかし，取り扱う電圧や電流が比較的大きいので，配線には注意が必要です。

図 1　機器実験室の様子

図１に示すのがこの実験に使用しているモーターです。一番古いものは昭和 6 年（1931 年）製と書かれていました。７５年以上も前から使われているようで，これにはびっくりしました。今までの職員の方たちが，大事に大事に使ってきたのだなと少し感動しました。そして動かしてみて，モーターの音の大きさにもびっくりしました。けれど，長年親しまれてきたこのモーターとは老朽化のため今年でお別れだそうで，来年度の実験では新しい，今より少し小型のモーターを使用する予定です。たくさんの歴史が詰まったモーターを，最後に１年だけでも使わせてもらえてよかったなと思いました。

実際に学生相手に実験を進めるにあたって，最初は実験手順の説明すら，なかなか思うようにいきませんでした。しかし，何度も行うにつれて，また，学生から質問を受けて自分で調べたりするうちに，少しずつ説明しなくてはいけない重要ポイントが分かるようになりま

した。勉強は学生の本分といいますが，就職しても生涯学習は続くのだなと改めて実感しました。

分からないことは適当に答えるのではなく，ちゃんと次までに調べるという癖も付き，後期は三相回路の学生実験を担当しています。

3. ものづくり

もうひとつ技術職員の重要な業務として，研究の技術支援というものがあります。つまり，ものづくりです。私のいる研究室にはボール盤と旋盤があります。しかしそれらの機械を見たのは初めてだったので，全く使い方が分かりませんでした。基本からいろいろ教えていただいて，技術支援センターでのパネルソーやボール盤の講習を受け，最近は少し使えるようになりました。

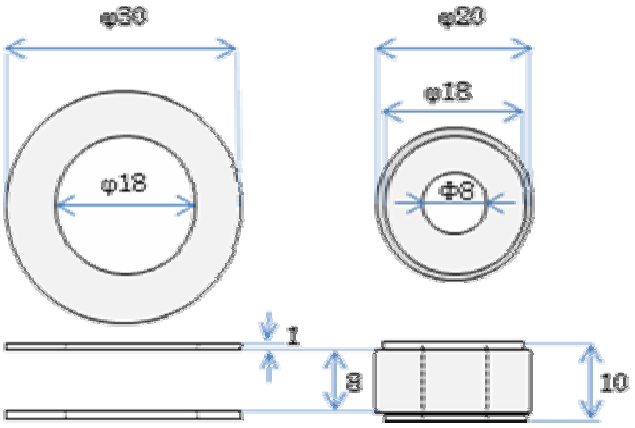


図 2　ボビン設計図

後期に入り，その習得した技術を生かす機会が訪れました。金大祭に伴って開催されるてくてくテクノロジーです。地域の方々に電磁誘導とはどんな現象なのか知っていただくため，何か分かりやすい装置を作ろうということになりました。電磁誘導の説明なので，まずはコイルが必要です。そこで旋盤を用いてアクリル材料を加工し，図 2 に示すような３つのパーツを作成します。これらを接着剤で組み合わせるとボビンが完成です。薄い板は割れやすいので加工するのがなかなか難しかったです。同じ寸法のボビンを最初は 16 個，後で増やして結局 23 個作りました。その全てに巻き線機を用いてΦ0.15mm の銅線を，1200 回巻きました。初めはΦ0.1mm の銅線を用いようと考えていたのですが，何度挑戦しても 500 回くらいで線が切れてしまい，20 個ものコイルをこの線で作るのは困難だと判断し，Φ0.15mm にしました。[コイルが全部できてから最後にもう一度だけ挑戦しようと思いΦ0.1mm で巻いてみると，コイルを巻くという作業に慣れたからなのか，同じボビンにあっさり 3000 回も巻くことができました！]

出来上がったコイルに４色(赤・青・緑・白)の LED をそれぞれ接続します。LED はダイオ

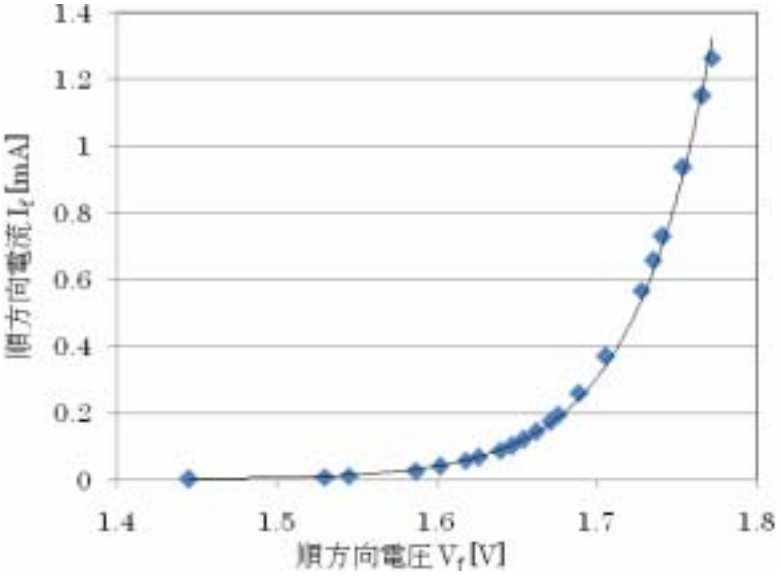


図 3　LED の順方向電圧－順方向電流特性

ードなので，順方向にある程度電圧をかけなければ電流は流れません。赤色のダイオードで特性を測定してみました。結果を図３に示します。この図を見ると順方向電圧が 1.6V を超えるあたりから発光し始めるということが分かります。1mA でもかなり明るいことが確認できたので，磁気による誘起電圧は 1.8V 程度で十分と言えます。

そこで，光らせるための磁界強度について考えます。今回作ったコイルは N＝1200[回]，S＝314[㎠]なので

誘起電圧＝$4.44fNB_mS$

を用いて計算すると，f＝60Hz の交流磁界の場合は 18mT 程度の磁界があれば発光することが分かります。磁石を用いて発光させたい場合は f の値が磁石を動かす速さに相当するので，表面磁界が数百 mT の磁石を用意すれば良いといえます。フェライト磁石では無理でしたが，ネオジム磁石を近づけ，左右に動かすとピカピカ光りました。完成です。

最後にコイルを四角いガイドにはめ込んで，ブロック状にし，それをたくさん並べて，図 4 の写真のように仕上げました。いろんな色をランダムに配置したので，とても賑やかな装置になりました。自分の作った装置で訪れた方たちに楽しんでいただけて，とてもうれしかったです。

図 4　仕上がったコイル

4. これから

技術職員は職員の中でも比較的様々な業務に携わる機会が多いと思います。事務仕事もあれば，肉体労働もありますし，学生の指導に携わったりもします。私もいろんな方にいろんなことを教えていただき，この８カ月で少しですが技術職員２年生に近づくことができました。特に大切なのだなと学んだことは安全性がとても大切だということです。当たり前のことですが，常に気にかけていないと頭の隅の方にいってしまうので，しっかりと心がけておきたいと思います。

技術職員として，まだまだ知らないことや，うまくできないことが山のようにありますが，これからもいろんなことに積極的にチャレンジしていけたらいいなと思います。

遊星歯車を利用した刃物砥ぎ装置の開発

技術支援センター　和布浦　和夫

はじめに

数年前に自然科学研究科長の石田啓教授から遊星歯車を利用したコンプレッサーの加工依頼が技術支援センターに出された。コンプレッサーはクランク機構を使用せずに回転運動を直線運動に変える機構だったので、コンプレッサー以外にその機構を利用して何か作れないかと考えていた。バランスを正確に取れば振動も小さく油圧を使用せず完全直線往復運動を行う機構なので超小型精密機械(研削盤)のベッドか刃物砥ぎ装置に利用が出来ないかと思ったが、製作にかかる時間等を考慮し刃物砥ぎ装置の開発を選択した。本報告ではその取り組みと製作について述べる。

1.従来例

従来の刃物砥ぎは、砥石に充分水を含ませ、砥石の手前を少し高くし、滑らないように置き、砥石と包丁は 10 度位の角度を保って、力を入れすぎないよう砥石全体を使うように前後に動かし、時々砥石に水をかけながら砥ぐ、片刃の場合は、表から砥いでカエリが出たら裏を砥ぎカエリを取る。どんなに切れ味優れた刃物でも、使用すれば切れ味が鈍り、切れ味を維持するにはたびたび砥ぐ必要がある。砥石を使用して手で砥ぐ方法が一番であるが、刃物砥ぎは長年の経験と熟練の技術が必要である。

2.装置の製作

往復運動機構に遊星歯車を利用して、誰にでも短時間で安全かつ簡単に包丁を砥げる装置の開発を目指す。この機構は構造がシンプルなため、振動、騒音も小さく保守やメンテナンスも容易と考える。機構の概略図を図 1 に示す。A 部の回転が B 部において往復運動に変わる機構である。この機構の特色は完全直線往復運動を行うので、わずかな動力でも稼動する。往復運動する箇所にはリニアガイドを

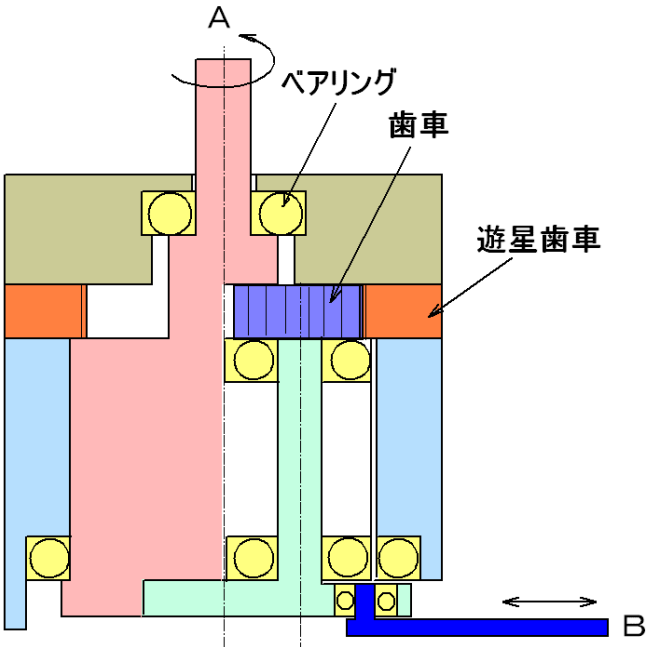


図 1　概略図

利用して、そこに刃物を取り付け往復運動させる。砥石は前後左右の移動と角度が自由に調整出きる機構とした。圧縮コイルばね(外径 10mm 自由長 30mm 線径 0.8mm×12 個)を用いて刃物の刃先に砥石を押しあてて砥ぐ方式とする。往復運動はインバータ等を用いて速度を無段階に調整できる構造とした。

おわりに

構造はシンプルでも実際の部品加工は精度が要求され機械加工はかなり困難(ベアリングのハメアイ、遊星歯車の噛み合わせ、バランス取りなど)であった。往復運動部にリニアガイドを使用したため取り付け部品の平行度と直角度が正確に出ていないと動きが悪くなるため部品加工や取り付けには精度が要求された。遊星歯車と歯車の組み立て作業も適当に組み合わせると往復運動部が斜め方向に動いてしまうため正確な位置決めが必要である。砥石は市販の油砥石(13×25×100)を使用したが、刃物をセットし砥石をバネで刃物に押しあてると砥石と砥石の先端が干渉し刃先を砥ぐことが出来なかった。砥石を櫛形(写真 1)に改良したため問題点が解決し刃先を砥ぐことができた。砥石の目詰まりを防ぐためコンパクトコンテナーを取り付けたが、水中で砥ぐ機構にすれば砥石の目詰まりと磨耗も抑えることが出きるのではないかと思う。砥石の動きも前後左右だけでなく、刃物幅に応じて上下方向に移動出きるステージを利用すればもっと使いやすくなると思う。

写真１　櫛形砥石

写真２　部品

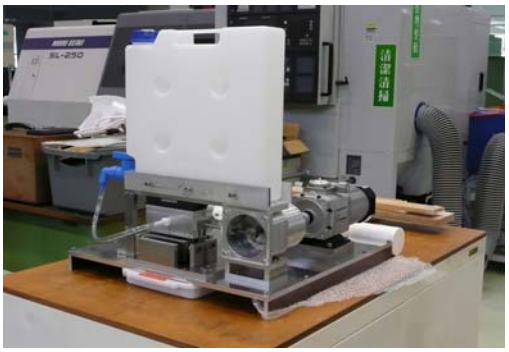


写真３　刃物砥ぎ装置

石川県産骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究

土木建設工学科　　山戸　博晃

要旨：石川県内で産出する反応性骨材としては，能登地方北部の安山岩砕石と一部地域での川砂，川砂利とがある。本研究では，それらの骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリシリカ反応性を検討した。能登地方の安山岩砕石に含有される反応性鉱物の種類とその量は採取地によって相違があり，風化・変質過程でのスメクタイト化が骨材のアルカリシリカ反応性の正確な判定を困難なものにしていた。また，骨材からのアルカリ溶出量を考慮すると，現行の JIS A 5308 でのアルカリ総量規制値による抑制対策では不十分である可能性があった。

キーワード：反応性骨材，アルカリシリカ反応性，アルカリ溶出，モンモリロナイト

1．まえがき

石川県ではアルカリシリカ反応（ASR）による構造物の劣化が顕在化している。とくに，能登地方では, 安山岩砕石を使用した構造物にて, 鉄筋破断をともなう，大きな劣化が多数発生している。石川県のASR対策検討委員会では, 2004年から2年間にわたり全橋梁のASR発生状況を調査した。その結果，1027の調査橋梁の内，約300の橋梁にASRによる劣化の兆候があることを確認し，奥能登地域では橋梁数の48％がASRによる劣化が発生していた[1)]。

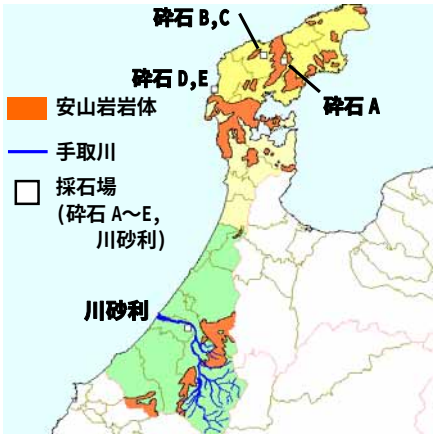
石川県の代表的な反応性骨材は能登半島北部で産出される安山岩砕石が有名であるが，安山岩の岩体が白山麓にも存在するため，手取川水系の河川産骨材にも安山岩粒子が混入していることが知られている。また，能登産の安山岩には風化・変質作用の影響を受けているものがあり，現行のASR試験法により適切に評価できないことが問題であるとされている[2)]。一方，諸外国では骨材から溶出するアルカリの影響がすでに検討されており，RIREM TC 191-ARPでは骨材のアルカリ溶出試験（AAR-8）の規格化が進んでいる[3)]。さらに，わが国では，ASR抑制対策として，アルカリ総量規制値（3kg/m^3）を基本に据えているが，骨材から溶出したアルカリの影響により，ASRが長期にわたり進行する場合があることも指摘されている[4)]。

本研究では，石川県内で産出する骨材のアルカリシリカ反応性を調べることを目的として, 5種類の安山岩砕石と1種類の川砂利に対して化学法と3種類の促進モルタルバー法を実施した。さらに，骨材からのアルカリ溶出量を調べるために，石灰飽和溶液中における骨材からのアルカリの溶出性状を比較検討した。

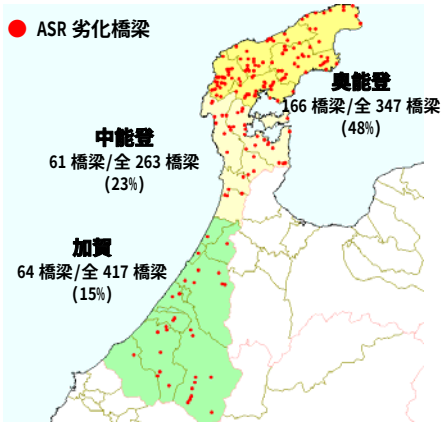
2．実験概要

2.1 使用材料

本研究に使用した骨材は，5 種類の安山岩砕石（砕石 A（能登町），砕石 B（輪島市），砕石 C（輪島市），砕石 D（門前町），砕石 E（門前町））と 1 種類の川砂利 F（白山市）の計 6 種類である。石川県の安山岩岩体の分布状況を**図-1** に示す。能登半島の北部に安山岩の岩体が帯状に横断しており，この地域に多くの採石場がある。安山岩には，反応性鉱物としてクリストバライトと火山ガラスが含有されており，それらの量



図－1 反応性骨材(岩体)の分布状況



図－2 ASR が発生した橋梁の分布状況

は採取地によって大きな相違がある。すなわち，今回の試料に関しては，門前町産のものには火山ガラスが多く残存しているのに対して，風化・変質作用を受けた輪島市産のものには火山ガラスが少量しか含有されておらず，スメクタイト化（モンモリロナイト）が進行しているのが特徴である。

2.2 試験方法

(1) 骨材の岩石・鉱物学的特徴

骨材の粉末試料を使用して，蛍光X線分析により化学成分を測定するとともに，X線回折によりクリストバライトや火山ガラス，モンモリロナイトなどを同定した。

(2) 骨材のアルカリシリカ反応性

骨材のアルカリシリカ反応性を現行の化学法（JIS A1145-2001）およびモルタルバー法（JIS A1146-2001）により調べるとともに，外部よりアルカリが常に供給される，より厳しい養生条件である促進モルタルバー法（ASTM C1260（温度80℃の1N･NaOH溶液への浸せき）およびデンマーク法（温度50℃の飽和NaCl溶液への浸せき））を実施した。使用したセメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm^3，等価アルカリ量：0.68%）である。

(3) ASR ゲルの生成状況と化学組成

モルタルバー試験終了後，ASRゲルの生成状況を酢酸ウラニル蛍光法により調べるとともに，モルタルの破断面より断片を採取し，ASRゲルの形態およびその化学組成をSEM-EDX分析により検討した。

(4) 骨材からのアルカリ溶出性状

骨材からのアルカリ溶出量を調べるために，骨材（50g）を38℃の飽和水酸化カルシウム溶液（100 ml）に浸せきし，骨材から溶出するアルカリ濃度（Na^+およびK^+イオン）を原子吸光光度分析により測定した。なお，骨材からのアルカリ溶出量（mg/g）は，骨材1g当たりの等価アルカリ溶出量（$Na_2O+0.658K_2O$）で表示した。

3．実験結果及び考察

3.1 ASR の発生地域と反応性骨材の種類

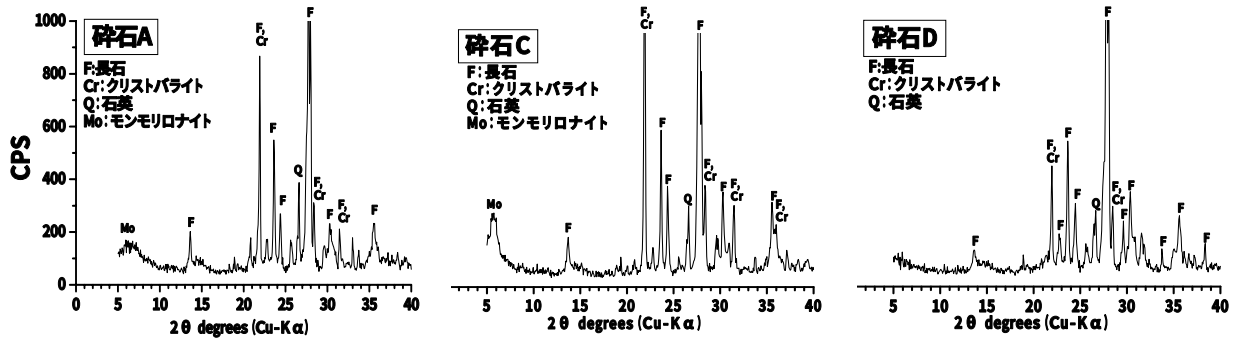
石川県内のASRが発生した橋梁の分布状況を**図-2**に示す。橋梁の規模やASR損傷度とは無関係にASR劣化橋梁の分布状況だけを見ると，奥能登地域にASR劣化橋梁が多く存在していることがわかる。奥能登地域のASRはすべて安山岩砕石によるものであることが明らかになっている。一方，中能登地域や加賀地域でもASRが発生しているが，これらの地域のASRは川砂および川砂利が原因であり，ASR損傷度も比較的軽微なものが多い。最近の調査では，金沢市近郊にて富山県の庄川水系や常願寺川水系の河川産骨材によるASRや，白山麓にて手取川水系の一部の河川産骨材によるASRが新たに発見されている。

3.2 骨材の岩石・鉱物学的特徴

能登産の安山岩砕石の化学成分を**表-1**に示す。

表－1　安山岩砕石の化学成分（%）

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	P_2O_5	MnO	Total
砕石 A	60.7	20.1	5.9	4.8	3.2	1.8	2.3	0.7	0.2	0.1	99.8
砕石 B	63.1	20.2	5	4.6	3.2	1.5	1.4	0.7	0.2	0.1	100
砕石 C	62.2	19.6	4.7	5.5	2.6	0.8	3.4	0.6	0.2	0.1	99.7
砕石 D	58.4	23.2	5.1	5.9	3.1	2.2	0.9	0.7	0.2	0.1	99.8



図－3　安山岩砕石の X 線回折の結果

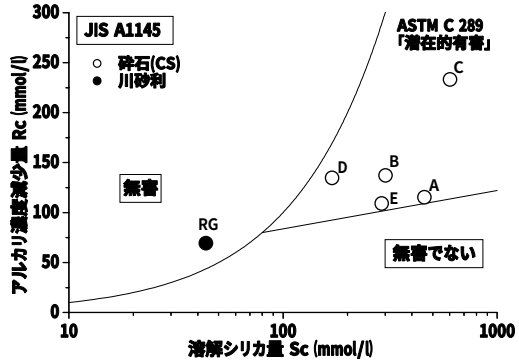
安山岩の主要な化学成分は，シリカ分(60%)およびアルミナ分(20%)であり，モンモリロナイトを含有するもの（灰色または渇色）はガラス質のもの（黒色）と比較すると，シリカ分が多くなり，アルミナ分が少なくなるという，化学成分の特徴があった。また，安山岩には5%程度のアルカリ分が含有されており，マグネシウム量には採取地による相違が顕著に認められた。

能登産の安山岩砕石の X 線回折分析の結果を**図-3** に示す。安山岩砕石は反応性鉱物としてクリストバライトと火山ガラスを含有していた。また，採取地により安山岩砕石に含有するクリストバライトの回折強度が相違した。X 線回折分析より，安山岩砕石の中で，スメクタイト化が最も進行しているものは砕石 C であり，ガラス質の砕石 D はクリストバライトの含有量が最も少なかった。骨材の ASR 試験法ではクリストバライトおよび火山ガラスの反応性とその量的関係が正確に反映されているものが望ましい。

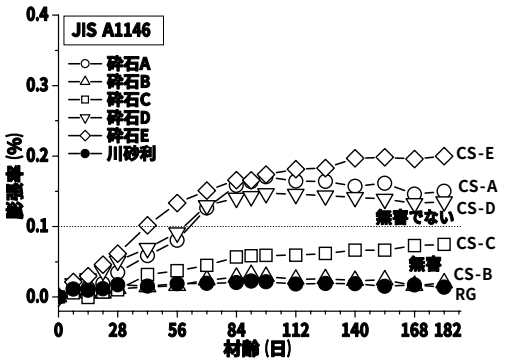
3.3 骨材のアルカリシリカ反応性

化学法（JIS A1145）による判定結果を**図-4**に示す。すべての安山岩砕石は化学法（JIS A1145）により「無害でない」と判定されるとともに，化学法（ASTM C289）における「潜在的有害」の判定領域にプロットされた。とくに，スメクタイト化の進んだ砕石Cは，モンモリロナイトによるアルカリ吸着作用により，アルカリ濃度減少量が大きくなった。能登産の安山岩砕石を使用したコンクリートは60%から80%の範囲にペシマム混合率をもつことが確認されており，これは化学法（ASTM C289）における「潜在的有害」に判定される結果とも一致している。それに対して，手取川産の川砂利は，アルカリ濃度減少量および溶解シリカ量ともに少なく，「無害」と判定された。

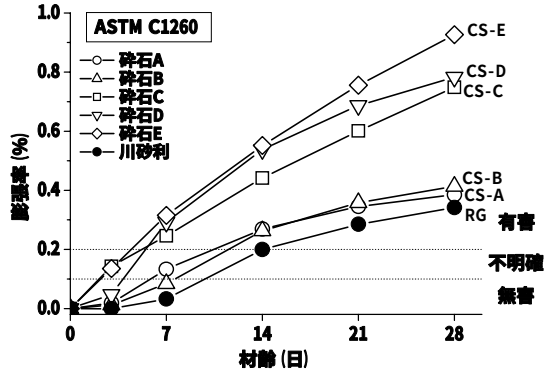
モルタルバーの膨張挙動（JIS A1146）を**図-5** に示す。モルタルバー法（JISA 1146）では，砕石中の火山ガラス，クリストバライトおよびモンモリロナイトの含有量により膨張挙動が大きく相違した。すなわち，砕石A, DおよびEは0.1%以上の膨張量が発生し，「無害でない」と判定されたのに対して，スメクタイト化が進んだ砕石BおよびCは川砂利と同様に大きな膨張が発生せず，「無害」と判定された。モルタルバー法（JISA 1146）では，アルカリ（セメント質量の1.2%）がモルタルの打設時に添加されており，養生期間中に比較的多量のアルカリが漏出する影響で，モルタルの膨張が材齢60日以後に停止



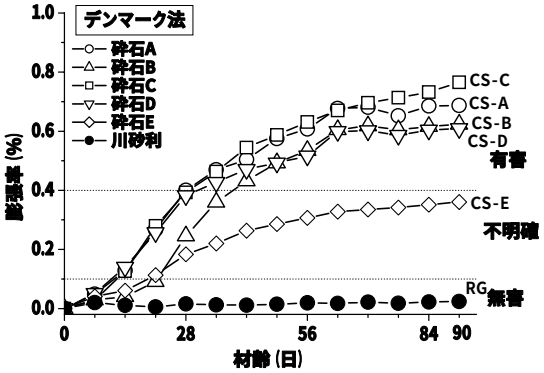
図－4　化学法(JIS A 1145)による判定結果



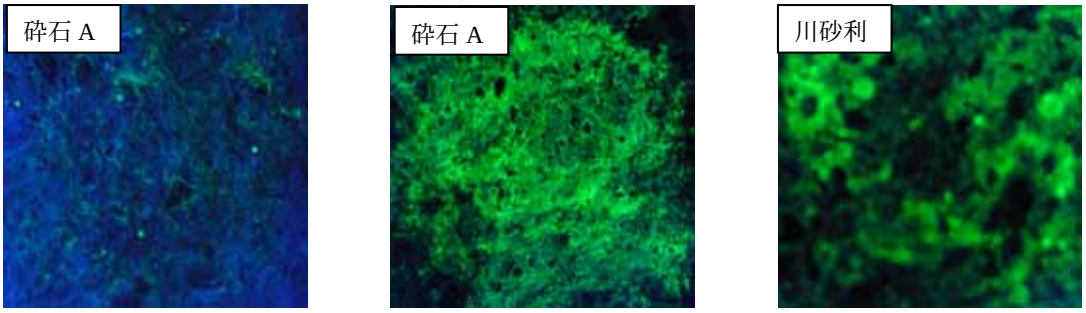
図－5　モルタルバーの膨張挙動(JIS A 1146)



図－6　モルタルバーの膨張挙動
(ASTM C 1260)



図－7　モルタルバーの膨張挙動
(デンマーク法)



JIS A 1146(40mm 角)　　デンマーク法(40mm 角)　　ASTM C 1260(25mm 角)

写真－1　モルタルバー試験終了後の ASR ゲルの生成状況

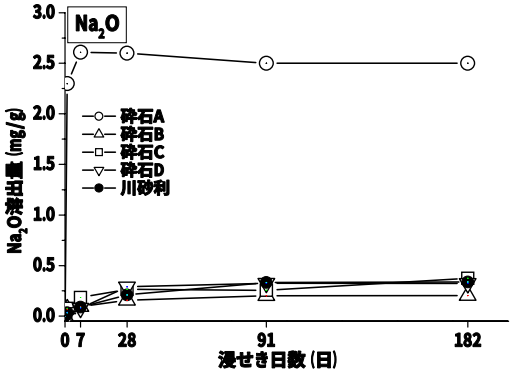
した。

モルタルバーの膨張挙動（ASTM C 1260）を**図-6**に示す。モルタルバー法（ASTM C 1260）では，安山岩砕石はすべて「有害」と判定された。また，非反応性の骨材である川砂利も膨張しており，「不明確」と判定された。ASTM C 1260では，川砂利の中にごく少量の火山岩系の岩石が含有している場合にもそれらがASTM C 1260の条件では実際に反応するために，モルタルの膨張が発生しているものと推察された（**写真-1** 参照)。北陸地方の火山岩系の岩石を含有する川砂や川砂利には，ASTM C1260の判定基準をそのまま適用することは不適当であった。

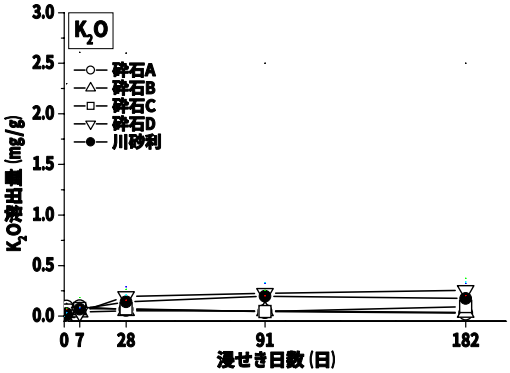
モルタルバーの膨張挙動（デンマーク法）を**図-7** に示す。デンマーク法では，すべての安山岩砕石が膨張しており，「有害」または「不明確」であると判定された。デンマーク法におけるモルタルの膨張量はX線回折におけるクリストバライトの回折強度や酢酸ウラニル蛍光法によるASR ゲルの生成状況ともよく一致していた（**写真-1** 参照)。また，アルカリが外部から常に供給されるため，材齢が経過するとともにモルタ

表－2　骨材の ASR 試験法の判定結果の整合性

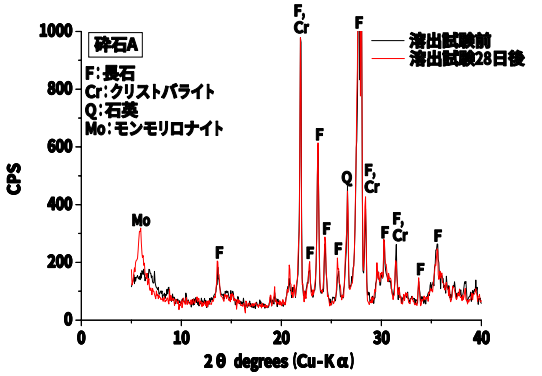
骨材の種類	化学法				JIS A 1146		ASTM C1260		デンマーク法	
	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	Sc/Rc	判定結果	膨張量 (%)	判定結果	膨張量 (%)	判定結果	膨張量 (%)	判定結果
砕石 A(能登)	458	115	3.98	無害でない	0.15	無害でない	0.27	有害	0.69	有害
砕石 B(輪島)	301	137	2.2	無害でない	0.02	無害	0.26	有害	0.62	有害
砕石 C(輪島)	603	233	2.59	無害でない	0.08	無害	0.44	有害	0.77	有害
砕石 D(門前)	170	135	1.26	無害でない	0.14	無害でない	0.54	有害	0.61	有害
砕石 E(門前)	289	109	2.65	無害でない	0.2	無害でない	0.55	有害	0.36	不明確
川砂利(白山)	44	69	0.64	無害	0.01	無害	0.19	不明確	0.02	無害



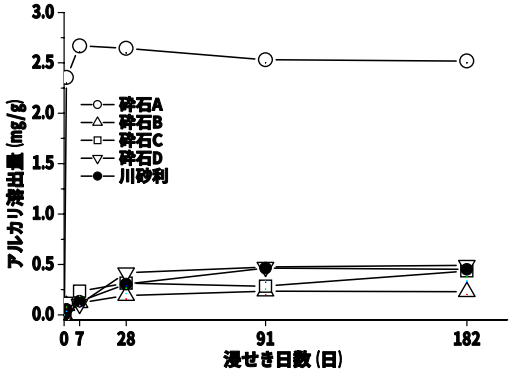
図－8　骨材からのナトリウムの溶出性状



図－9　骨材からのカリウムの溶出性状



図－10　アルカリ溶出試験後の X 線回折図



図－11　骨材からのアルカリ総溶出量

ルの膨張量が大きく増大しており，判定が容易となる利点もあった。それに対して，川砂利の場合は，ASTM C 1260 では膨張が発生したが，デンマーク法では，ASR ゲルが生成しておらず，モルタルの膨張もまったく発生しなかった。

3.4 ASR 試験法の判定結果の適合性

骨材の ASR 試験に関しては，JIS A 1146 では判定までに 6 ヶ月かかることから，実際のコンクリートの品質管理に適用しにくいことが問題とされている。それに対して，ASTM C 1260 およびデンマーク法では，それぞれ 14 日および 91 日で判定できる点が有利であるが，わが国での両試験法の試験実績は少なく，促進養生条件が実構造物での使用・環境条件との関係が不明確であるとされている [2)]。骨材の ASR 試験法の判定結果の整合性を**表-2** に示す。モルタルバー法の判定に関して，JIS A 1146 はスメクタイト化の進行した安山岩砕石にて，ASTM C 1260 では火山岩系の岩石を含有する川砂利にて，適切に判定できない場合があった。一方，デンマーク法は石川県内の安山岩と川砂利の両者に適用が可能であり，また試験自体が ASTM C 1260 と比較して安全かつ簡便であることから，骨材の ASR 試験法として適当であると判断された。

3.5 骨材からのアルカリ溶出性状

骨材からのNa^+およびK^+イオンの溶出量を**図-8**および**図-9**に示す。ナトリウムの溶出性状に関して，砕石Aからは浸せき1日より多量のNa^+イオンが溶出したが，浸せき7日以後にほぼ一定になった。これは，砕石Aに含有されるモンモリロナイトのNa^+イオンと水酸化カルシウム溶液中のCa^{2+}イオンとのイオン交換反応により，モンモリロナイトのNa^+イオンが放出されたものと推察された。砕石Aのアルカリ溶出試験の前後でのX線回折図を**図-10**に示す。砕石A以外のものは試験の前後で明確なピークの変化が認められなかった。それに対して，砕石Aは溶出試験後にモンモリロナイトのピーク高さが大きく増大していた。したがって，モンモリロナイトが含有する陽イオンの種類については骨材からのアルカリ溶出との関係で十分な注意を払う必要があった。

骨材からのアルカリ総溶出量を**図-11**に示す。砕石A のアルカリ溶出量は2.7mg/gとなり，それ以外のものは0.5mg/g以下となった。単純に，砕石A が砕砂として使用される場合（800 kg/m^3 として計算）を想定すると，砕石Aからは2.2kg/m^3のアルカリが溶出することになる。この値は，セメントから供給されるアルカリ量とほぼ同量であり，骨材からのアルカリがASRの発生とその持続に大きな影響を及ぼしている可能性がある。現行のJIS A5308のアルカリ総量規制値には海砂および海砂利に含有するNaClのみが考慮されているが，この結果から判断すると，能登産の安山岩砕石にアルカリ総量規制によるASR抑制対策を適用することは適当ではなく，混合セメント（フライアッシュセメントまたは高炉セメント）の使用による抑制対策を積極的に推奨すべきであると考えている。

4．結論

石川県内で産出する骨材のアルカリシリカ反応性と岩石・鉱物学的特徴との関係を調べることを目的として，5 種類の安山岩砕石と 1 種類の川砂利を対象に各種 ASR 試験法を実施した。

本研究より得られた主要な結果をまとめると次のようである。

（１）安山岩砕石には，ガラス質のもの（黒色）と風化・変質したもの（灰色または褐色）との 2 種類があり，とくにモンモリロナイトを含有するものには現行の JIS 法（化学法およびモルタルバー法）による判定が困難であった。

（２）安山岩砕石は化学法（ASTM C298）の判定図における「潜在的有害」の領域にプロットされた。

（３）安山岩砕石および川砂利のアルカリシリカ反応性の判定にはモルタルバーの促進養生試験（飽和 NaCl 溶液浸せき）が最も適していた。

（４）安山岩の一部には，アルカリ（Na^+イオン）を多量に溶出するものがあり，抑制対策に骨材からのアルカリ溶出の影響を考慮する必要があった。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(番号：18919016,研究者：山戸博晃)により実施したものである。本研究の実施にあたり，ご協力いただいた石川県生コンクリート工業組合に感謝いたします。

参考文献

1）鳥居和之，樽井敏三，大代武志，平野貴宣：能登半島のASR 劣化構造物に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol．28，No．1，pp．779-784，2006．

2）鳥居和之，野村昌弘，本田貴子：北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性，土木学会論文集、No．767/V-64，pp．185-197，2004．

3）M.A. Berube et al. : Alkali Releasable by Aggregates in Concrete-Significance and Test Methods, Proc. of the 12th Inter. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp.17-30,2004.

4）鳥居和之，野村昌弘，南善導：北陸地方の川砂のアルカリシリカ反応性とアルカリ溶出性状、セメント・コンクリート論文集、No.60 ,2006．

研 修 報 告

平成１９年度　石川県地区国立大学法人等技術職員研修の取組み

研修委員（辻良一、倉田喜博、倉谷知宏、川口秀樹）

1．はじめに

石川県地区技術職員研修は、金沢大学の移転等で 3 年間の空白期間がありましたが、久しぶりに実施の運びとなりました。

2．実施報告

平成 19 年 8 月 30 日（木）～31 日（金）に金沢大学自然科学研究科本館等で、21 名の参加で行われました。（参加者内訳は石川高専：4 名、北陸先端大：5 名、金沢大：12 名）

3．取組みの状況

表１　取組み状況表

作業年月日	作業内容	構成メンバー・員数	備考
H19.4.11	第１回工学部技術部研修委員会	研修委員３名、人間・機械技術室長	叩き台作成の検討
H19.4.23	第１回研修委員会	人事課職員支援室 2 名、工学部技術長 2 名、研修委員 4 名	
H19.5.8	第２回工学部技術部研修委員会	研修委員４名	
H19.5.9	横河電機と見学の打合せ	研修委員２名	横河電機金沢事業所で行う
H19.5.29	第３回工学部技術部研修委員会	研修委員４名	
H19.6.5	第２回研修委員会	人事課職員支援室 2 名、総務第 2 係長、技術長 2 名、研修委員 4 名	
H19.6.5	山中漆器の取材	人間・機械工学科 米山教授、研修委員 4 名	山中漆器産業技術センター、 川北工房
H19.7.4	第１回「川北良造氏 講演会」実施のための会議	人間・機械工学科 米山教授、研修委員 4 名	取材内容の確認と今後の進め方
H19.7.25	第 2 回「川北良造氏 講演会」実施のための会議	人間・機械工学科 米山教授、研修委員 4 名	講演会細部の検討
H19.8.1	第３回研修委員会	人事課職員支援室 2 名、工学部技術長 2 名、研修委員 4 名	

取組みとしては、研修委員会を 3 回、工学部技術部研修委員会を 3 回、特別講義打合せを 2 回、工場見学打合せを 1 回、山中漆器の取材を 1 回行いました。（上記　表１参照）これらは研修関係者が集合して活動したものを挙げたものです。

3.1　第１回技術部研修委員会

石川地区研修に関する方向づけ

・H18 東海・北陸地区研修の実施要領などを当時の実行委員より説明を受けた。
・石川地区研修は平成１9 年８月 27 日～８月 31 日までの２日間が適当との事で合意された。
・テーマについては別途研修委員で立案する。
・内容については専門分野を決めずに幅広い分野の技術職員の研修･交流を行う。機械系、電気系は研修を行い易いとの意見があった。また、技術発表を行うものとする。工学部教員に講義を依頼する。（専門性の高い講義と一般的に興味深い講義をとりいれる）CAD/CAM の研修をとり入れるものとする。
・工場見学を実施し、過去の実施状況を見て見学企業を決定する。
・懇親会は行わない。
・人事課職員支援室（以下､職員支援室）は他大学との連絡を行い､研修委員は､研修の企画立案､見学企業などとの対外交渉などを行う。必要書類は、研修委員が作成する。
・これをもとに、研修実施要綱の叩き台を作成する。

3.2　第１回研修委員会

実施要綱の討議

・名称は平成 19 年度石川県地区国立大学法人等技術職員研修とする。
・目的は石川県地区の国立大学等に勤務する技術職員が、優れた技術を伝承し、時代に即応した新しい技術・知識を学ぶことにより、技術職員の資質の向上を図るとともに、石川県地区に勤務する技術職員相互の交流に寄与することにした。
・テーマはものづくり・技術伝承コースとし、専門は特定しないものとする。
・期間は平成 19 年 8 月 30 日（木）～31 日（金）の 2 日間とする。
・場所は金沢大学自然科学研究科本館等とする。
・受講者資格は、金沢大学、北陸先端科学技術大学院大学及び石川工業高等専門学校に勤務する技術職員のうち、所属長から推薦された者とする。
・受講人員は 20 名程度とする。
・日程は工学部技術部研修委員（以下、研修委員）が別紙（案）に従って作成する。
・研修方法については技術発表、専門講義、特別講義、工場見学等を行うものとする。幅広く、技術職員全体を対象とした研修とする。
・技術発表は 10 名程度とし、3 機関に人員を割り振り、できるだけ多くの発表者を募る。発表方法の要領詳細を作成する。
・専門講義の講師は学内教員に依頼をする。
・特別講演の講師は学外講師とする。
・技術伝承の講義は３機関の中から講義をする技術職員を選任する。
・工場見学は事前調査を行ったうえで見学する施設を決定する。
・懇親会は行わないが、非公式に茶話会程度の意見交換会を行うことは可能である。
・受講方法については、技術発表を行わなくても、研修を受けることが出来る。研修期間は 2 日間だが、１日単位の部分研修参加を認める。

・修了証書は 2 日間の全日程を受講した者に限り、修了証書を授与するものとし、人事記録に載せる。
・予算は 10 万円程度とする。
・その他の事項として研修場所の選定を行う。
・開講式は職員支援室で企画遂行する。オリエンテーションにおいて事務連絡の後、研修に関する詳細説明を行う。閉講式において工学部長が修了証書授与を行う。
・今後の取組みとしては、６月末までに実施要項を決定し、受講者募集に取組む。

3.3　第２回工学部技術部研修委員会

実施方法の提案と検討
・研修日から逆算して作業・役割の確認をする。
・懇親会実施要望が他機関から出ているが、その是非について検討をする。
・技術発表とポスターセッションの実施方法については、他大学での要望として、全員がポスターセッションを行う事の案が出ている。技術発表は、実施することが本質なので最低１０人の発表者を募ることにする。
・専門講義の講師として田中茂雄准教授の了承を得ている。

3.4　横河電機と工場見学の打合せ

平成 19 年５月９日（水）に研修委員 2 名が、横河電機株式会社金沢事業所において、見学打合せを行いました。横河電機からは金沢事業所顧問の河原さんとライフサイエンス事業部 MEG センター研究統括部長の春田さんに対応して頂き、私達の見学についての趣旨説明と要望事項を文書と口頭で伝えました。以下の文章で説明しました。

私達は、石川県地区国立大学法人等技術職員研修の企画を検討しているところですが、この研修の一環として、石川県内の工場見学を考えております。そこで、先端技術を駆使したライフサイエンス事業を展開されている貴社の見学が技術向上に最適と考え、見学をお願いする次第であります。尚、見学の概要については下記のとおり考えております。

記

見学先：横河電機株式会社　金沢事業所
見学希望日時：平成１９年８月 31 日　午後２時頃～
見学者数：25 名～30 名程度
見学希望時間：１時間 30 分～２時間程度（見学時間については貴社の都合に合わせます）
見学対象者：研修受講者（金沢大学、北陸先端科学技術大学院大学及び石川工業高等専門学校に勤務する技術職員のうち、所属長から推薦された者）と研修担当者となっております。

3.5　第３回工学部技術部研修委員会

実施方法の提案と検討
・技術発表の司会者の選定をする。
・技術発表と職場紹介を実施し、発表原稿とポスター概略は冊子１冊にまとめる。
・技術発表は、最低 10 名とする。（例 金沢大５名、先端大３名、高専２名）
・ポスター用パネルは１０枚とし、ポスター掲示は２日間通して行う。

・３０日予定の技術伝承講和を中止することで、懇親会の時間を繰り上げて行うこととなった
又、日程については大枠において合意された。
・特別講演の講演日時は８月 31 日 9 時～11 時 20 分とする。講師は石川県立山中漆器産業技術ｾﾝﾀｰ、石川県挽物轆轤技術研修所所長・重要無形文化財保持者一木工芸　川北良造氏とする。
山中塗りに関する予備知識を得るために、現地に取材することにした。ビデオカメラ等の機材にて取材し、特別講演前に取材内容を発表する。取材に関する費用（交通費、講師謝金など）は、創成能力育成資金から捻出できるとの報告があった。取材者は米山教授と研修委員 4 名で現地へ行く（公用車を使用）ことが提案された。
・工場見学の見学内容については、企業側との打ち合わせが必要である。
・ハードラボ群見学については、各施設の教員に、口頭で見学依頼をしてあるので、日程表の完成後、改めてお願いに行く。ハードラボ群の各研究部門の正式名称を確認する。
・懇親会は 8 月 30 日の 17 時～18 時（時間を繰り上げて実施する）に行う。１時間程度をめどとするが、様子を見て延長することもある。会場は「すみれ亭」とする。技術職員と専門講義の教員（招待）で行う。石川高専の技術長、北陸先端大の主任技術専門職員、工学部技術長には、必ず出席してもらう。工学部技術職員に参加を呼びかける。会費は 3,000 円とする。
・専門講義Ⅰは環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門の田中 茂雄 准教授とし、
専門講義Ⅱは環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門　清水 宣明 教授とする。
テーマについては、６月５日までに確認する。
・開講式・閉講式は職員支援室で運用して貰うように依頼する。
・他機関、講師、研修者等への配付文書作成は職員支援室が行うことにする。

3.6　第２回研修委員会

1.　合意事項
・開講式・オリエンテーション・閉講式は職員支援室が担当する。
・専門講義Ⅰのテーマは「力学的刺激と骨形成促進」となる。
・専門講義Ⅱのテーマは「生体のスーパーセンサーとその工学的応用」となる。
・「技術伝承」講義は取り止めることで合意した。（技術発表時に含めることにする）
・技術発表および職場紹介の発表方法などの詳細について、別紙により研修委員より報告された。
・懇親会は各機関から実施要望があったので実施することにした。1 日目の 17 時 15 分～18 時 30 分に１時間程度をめどに行うが、様子を見て延長することもある。会場は「すみれ亭」とし、参加者は、研修生、参加希望技術職員、専門講義の教員（招待）とする。
石川高専の技術長、北陸先端の主任技術専門職員、金沢大学工学部技術長は、必ず出席するよう要請することにする。工学部技術職員にも参加を呼びかける。
・特別講演は研修 2 日目の 9 時～11 時 20 分とし、講師は川北良造氏とすることが承認された。
・特別講演を有意義に聴講するため、研修委員と人間・機械工学科 米山教授が山中漆器の取材に行くことが承認された。その取材で得たビデオ映像、写真などを特別講演前に聴講者に発表することにした。取材日は６月５日とする。取材費用などは、創成能力育成資金から支出する。（工学部経理係に支出の可否について確認済み）
・ハードラボ見学は約１時間の見学予定であるが、特別講演の時間が影響するため取材後に詳細を決定する。各施設の教員には、口頭にて了解済みである。２～３箇所の施設を重点的に見学

することの提案があった。
・工場見学は横河電機株式会社 金沢事業所（金沢テクノパーク内）に決定した。送迎は本学の大型バスを利用することにした。見学の詳細については横河電機と詰める必要がある。
大学から横河電機に正式要請が届いた時点で、会社側と打ち合わせを行う。
2. 実施要項の確認事項
・技術発表を行わなくても、研修に参加することが可能である。技術発表を行わない人は、ポスターでの職場紹介を行う。
・技術発表、職場紹介を行うか否かで、参加資格を問わない事とする。これらの参加資格は、募集要項には載せず、事前に各機関の代表に伝達する。
・１日単位、テーマ単位の参加を可能とするが、事前に申し出が必要とする。（特別講演、工場見学など）
・修了証書は、２日間の参加者のみ授与する事が確認された。
3. 研修実施日までの役割分担確認
・横河電機への見学依頼の正式要請は、職員支援室が行う。
・川北良造氏の講演、取材依頼の正式要請は、職員支援室が行う。
・募集要項の作成、各機関への募集は、職員支援室が行う。
・技術発表、職場紹介の冊子作成は、研修委員が行う。
・大学施設の使用届けおよび、大学備品の借用届け（掲示板など）を行う。受講者に駐車票の発行が必要であり、ルートの案内が必要である。
4. 研修日の役割分担の確認
・専門講義の講師紹介は、職員支援室が行う。又、技術発表の司会は、工学部技術長が行う。
5. 特別講演の広報
・特別講演の広報については、「創成能力育成・技能伝承能力の実践、拡大」事業と共催して実施するため、米山教授と打ち合わせが必要となるため、後日決定する。進行については、米山教授との打ち合わせで決定する。

3.7 山中漆器の取材 「川北良造氏の工房を訪ねて」

平成 19 年 6 月 5 日に、石川県立山中漆器産業技術センター・石川県挽物轆轤技術研修所と人間国宝 川北良造氏の工房を訪ねて、山中漆器に関するお話を伺い且つ、作品の鑑賞を行ってきました。

この事前取材は、研修で川北良造氏に特別講義（創成能力育成・技能伝承能力の実践、拡大事業が協賛）をして頂くうえで、講義の理解を深めるために行われました。

当日は、「創成能力育成・技能伝承能力の実践、拡大」事業の方から人間・機械工学科の米山教授と技術部研修委員 4 人の計 5 人で取材を行いました。

冒頭に、山中漆器産業技術センターで、研修生による轆轤の実演と作品の概略説明を行って頂きその後、川北工房へ向かいました。

最初に、米山教授から研修の説明を行い、その後、川北氏から挽物のルーツと伝統工芸の本筋を話したいと云われインタビューが始まりました。なお、山中漆器産業技術センター教務主任の向平さんも同席されました。（インタビューの模様については、長くなりますので略します。資料等はあります。）

最後に、事務的な打ち合わせをしてインタビューは終わりました。氏の暖かい人柄が感じられる取材でした。工房からみる眺望も話の内容にマッチしたような優しさが感じられました。

写真 A　轆轤の実演

写真 B　只今、取材中

3.8　第１回 「川北良造氏 講演会」実施のための会議

1. 山中取材について、米山教授、研修委員から報告があった。
   考え方の統一を図ることが必要である。
2. 取材内容について確認を行った。
3. 基本的には取材で得られた内容を講演会時に披露してもらう。

・川北良造先生の経歴については、正式な情報を山中より入手する。
・山中漆器の起りについてと、山中温泉との関連について。
・材料の種類については欅、黒柿、桑、杉、桐、楓、トチ、ツゲ等が挙げられる。
・山中漆器の特徴は、木目を生かす川北良造先生、塗りを重んじる山中漆器となる。
・川北良造先生の作品の特徴については竪木取りにより木目を生かす。
・木工の基礎的知識について。指し物、挽物、くり物の違いについて。
・轆轤については山中独特の轆轤、刃物（工具）の作り方や材質、正回転と逆回転、チヤッキング方法、回転数などについて。大きなテーブルなども轆轤で加工するのか、4 角の形をそのまま轆轤で加工するのか。
・材質の良し悪しについてはどうか。狂いのこない良い材料と狂いやすい材料の見分けかたについて。塗り物についての説明。うるしについて。作品の出来上がるまで。構想から材料選びの場合、材料があって構想が生まれる場合など。木材の保管について。作品の紹介。作品製作の技法については、縮れ線象嵌、浮き象嵌、加飾挽き、飾り金具、拭漆などがある。技能伝承の方法について。海外における、山中漆器の感触について。
・人間国宝として現在ある川北良造先生の人生訓などについて。

4. 講演会の進め方は、インタビュー形式とする。

・講演会の進行については、あいさつ----川北先生の経歴紹介---山中取材の報告-----講演会----質疑応答----終了　基本的には、休憩時間を設けないで進行することにする
・講演風景など写真は、事務部に依頼する。

5. 取材のビデオ・写真の生かし方については、ビデオはインタビュー形式の公演中に、折々上映する。写真は、取材報告のときに披露する。
6. 広報については、工学部教職員を対象にしたポスターを作る。

3.9　第２回　人間国宝 川北良造氏 特別講演実施のための会議

1. 広報活動として
   ・工学部全教職員にチラシを配る。ポスターの枚数は、掲示場所を確認して決める。
   ・工学部ホームページに講演会のお知らせを掲載することが可能か確認する。
   ・工学部技術部ホームページに講演会のお知らせを掲載する。
2. 特別講演 進行要領
   ・始まりを宣言
   ・山中漆器の紹介
   ・略歴紹介
   ・講演会開始（インタビューワは、米山教授、辻研修委員）
   ・質疑
   ・終了を宣言（司会は辻研修委員）
3. 講師の送迎
   ・出迎えと見送りは、共に自然研事務棟側にて行う。臨時駐車券の発行を依頼する。
   ・研修委員は、研修中なので出迎えは可能であるが、見送りはできないので職員支援室又は、総務係に対応を依頼する。
4. 講演会場の準備
   ・石川県地区技術職員研修が行われているので、整理整頓、会場設営などは、前日に行う。
   ・演題、講師紹介の垂れ幕は作成しない。
   ・自然研事務棟入り口から、ポスターや矢印を使い、講演会場の案内をする。講演会場入り口、会場内にポスターにて案内する。
5. 講師に講演要領の確認をしてもらい、確認事項を米山教授、各研修委員に連絡する。
6. 作品を会場に持ち込まれた場合、作品の管理方法を検討することが必要である。

3.10　第３回研修委員会

１．受講者数及び受講者名簿の確認
1）特別講演受講者を除く全受講者の確認
2）技術発表、職場紹介ポスターなどについて人数の確認
3）懇親会、ハードラボ見学、横河電機見学などについて人数の確認が、研修受講者表により確認された。
4）職場紹介のポスター数が少ないため、電気情報と機能機械の技術職員にポスターの発表を呼びかける。

2．日程表の再確認と各役割
1）列席者は事務局長、総務部長、南地区事務部長、職員支援室長である。
2）専門講義Ⅰは田中准教授に講義資料の確認をする。
3）専門講義Ⅱにテーマの変更があった。「生体のスーパーセンサーとその工学への応用」から「光触媒と超音波化学のカップリング」-殺菌技術・がん治療への応用-となった。
専門講義の司会は職員支援室が担当する。講義に必要な物品を２人の講師に確認する。
4）技術発表の司会は工学部技術長が担当する。技術発表の冊子製作、職場紹介ポスターは研修委員が担当する。技術発表の冊子は、30 部作成する。

技術発表後、全員の集合写真を撮り、配信はメイルで行う。

5）懇親会の最終確認と参加人数の把握、「すみれ亭」への連絡を行う。

6）特別講演については当日の進行確認をした。

・特別講演の案内チラシの配布は、工学部全教職員を対象とする。製作配布は研修委員が担当する。配布時期、ポスターの掲示時期については８月初めに行う。

・自然研事務棟入り口から矢印で１０８講義室を案内する。

・工学部ホームページに掲載する。工学部技術部ホームページに掲載する。大学の広報に連絡する。

・講演後の講師接待は、工学部長、米山教授、工学部総務係長にお願いできることとなった。

・川北先生の作品が当日、会場に持ち込まれる予定であることで、作品の展示場所が必要である。作品の数など未定のため 10 分程度の質疑時間を設ける。講演会会場準備は、前日の懇親会終了後行う。

7）ハードラボ見学は土木建設系（大型振動台)、電気情報系（プラズマ実験室、環日本海域環境研究センター計測室)、機械系（エンジンとフォーミュラーカーの見学）の 3 部門を２班に分かれて見学する。見学ルートの設定および、班分けは研修委員が担当する。３部門において、各部門 約 10～15 分程度で説明を受ける。

8）工場見学について

班編成は、ハードラボ見学時の班と同じにする。

9）閉講式の運用については職員支援室が担当する。また、工学部長が修了証書の授与を行う。

3．　研修実施日までの役割分担の確認

・横河電機の見学依頼、川北良造氏の講演・取材依頼、学内講師の依頼は送付済み。

・大学施設の使用届け、備品借用届けの確認。

・ハードラボ見学は各研究部門への依頼及び、見学３部門については、依頼済みであるが、再確認が必要。

・臨時駐車票の作成については OK。講師の駐車券、受講者の駐車券の発行の確認。

・研修会場の事前清掃について確認。

4．　研修実施当日と前日の再確認について

・研修前日の準備と研修後の後片付けについてスケジュールを確認した。

・研修時の写真撮影、講師のお茶、おしぼりなどは職員支援室、研修委員が担当する。

・ハードラボ、横河電機の班別引率者が確定した。

5．　研修報告とアンケート

・工学部技術部研修委員は研修報告を行う。

・アンケート作成と回収は職員支援室が担当する。

４．総括

4.1　開講式、オリエンテーション

事務局長から開講の挨拶があり、受講生の紹介、主催者の紹介、オリエンテーションと進行しました。開講の挨拶では、地区研修の目的・経緯等を的確に把握されて挨拶された事に好印象を持ちました。

4.2　事前準備

事前準備は、研修委員､職員支援室、両技術長の協力もあって概ね順調に終えました。

4.3　特別講義

特別講義は、人間国宝の川北良造氏にお願いし、6 月 5 日に同氏の工房にて取材を行いました。又、講義のテーマが「技術伝承・ものづくり」なので「創成能力育成・技能伝承能力の実践、拡大」事業と共催しました。広報･宣伝は、ポスター（自前）の貼り付け､メイルによる広報等幅広く行いました。全体を省みると企画、広報宣伝、内容と非常にいいものになったと自負しています。

4.4　専門講義

環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門の清水教授と田中准教授に生体関係の講義を分かり易くして頂きました。講義時間及び内容共によかったと思っています。

4.5　技術発表

発表予定が予定より少なかったことと、質疑応答にかかる時間が少なかった為に、時間に余裕が出ました。進行時に時間配分の工夫をすべきであったと反省しています。

4.6　職場紹介のポスター

本館 108 号講義室前のスペースに展示しましたが、予想を越える数が集まりました。照明が暗く見づらいところがありました。又、技術発表で時間の余裕が生じたのでポスター作成者に説明をしてもらいました。(直前にお願いしましたので、ご迷惑をおかけしましたことをお詫びします。)

4.7　施設見学（見学先：ハードラボⅢ、ハードラボⅣ、技術支援センター）

2 班に分けて見学を行いましたが、見学先の教員等の方々が、熱心に対応されたこと、マージンの少ない時間配分及び、見学先が多かったため、時間に追われる展開となりました。余裕のあるスケジュール設定をすることが必要でした。ハードラボ見学では見学先の関係者の方々にお世話になりました。

4.8　懇親会

懇親会はすみれ亭で行い、終了時間をオーバーする程に盛況でした。講義を担当された先生方も参加されました。挨拶及び乾杯は先端大、司会は金沢大、閉会の辞は石川高専と参加機関の方々が懇親会の進行に協力されました。

4.9　工場見学（横河電機　金沢事業所）

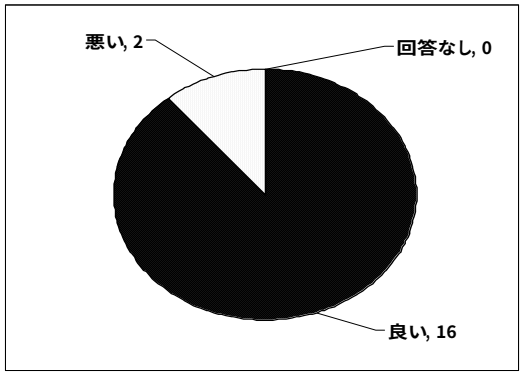
５月９日に事前打合せを見学先にて行いました。見学者は研修受講者＋研修委員＋希望者で 29 名の参加がありました。また。移動時間が予想より速かったのと、質疑応答の時間が結果的に余ったため、全体として予定より早く終了しました。

5. アンケートの結果

１．研修の日程等について

（１）研修日程

良い	16 人
悪い	2 人
回答なし	0 人
合計	18 人



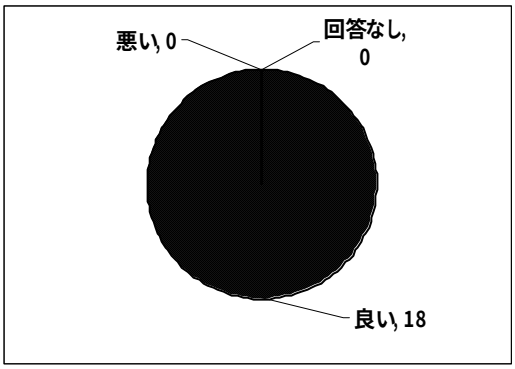
具体的な意見

・1 日でも良い。

・見学の時間が足りなかった。時間配分をもう少し考えて欲しい

（2）研修場所

良い	18 人
悪い	0 人
回答なし	0 人
合計	18 人



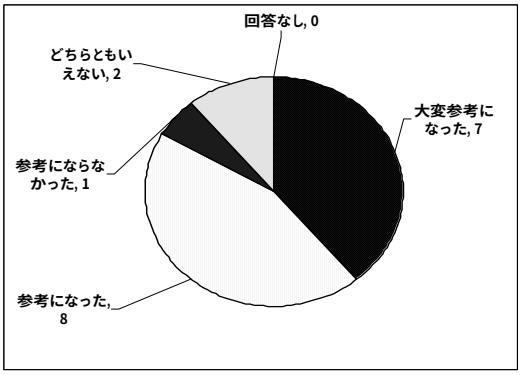
具体的な意見

・近隣の駐車場から分かりづらいです。

1．各講義内容について

① 専門講義Ⅰ「力学的刺激と骨形成促進」

大変参考になった	7 人
参考になった	8 人
参考にならなかった	1 人
どちらともいえない	2 人
回答なし	0 人
合計	18 人



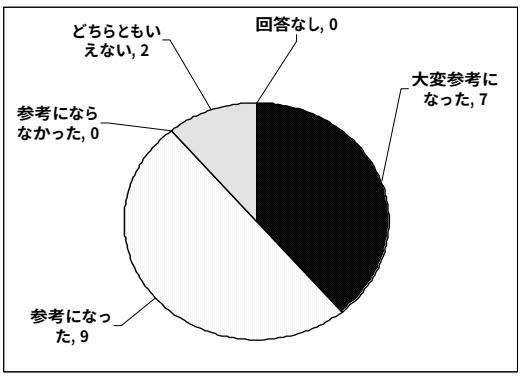
具体的な意見

・専門分野ではないが、内容が興味深く聞かせていただきました。

・新しい知見を得られたと思う。

② 専門講義Ⅱ「光触媒と超音波化学のカップリング」

大変参考になった	7 人
参考になった	9 人
参考にならなかった	0 人
どちらともいえない	2 人
回答なし	0 人
合　　計	18 人



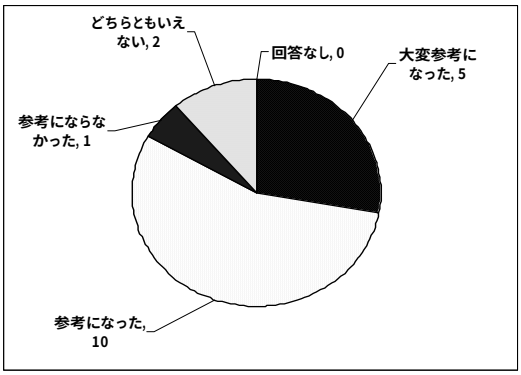
具体的な意見

・専門分野ではないが、内容が興味深く聞かせていただきました。
・新規の材料として新しい興味を持つことができた。
・大変興味ある内容でしたが、むずかしくて理解できないところもあった。

1．各講義内容について

③　技術発表･技術交流

大変参考になった	5 人
参考になった	10 人
参考にならなかった	1 人
どちらともいえない	2 人
回答なし	0 人
合　　計	18 人

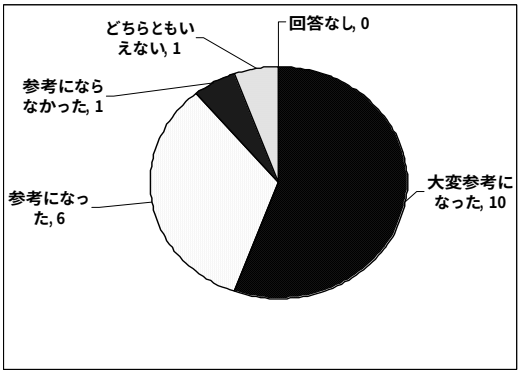


具体的な意見

・他の分野が多いので分からない事が多かった。しかし、興味深く聞けました。
・他の技術職員の方々が普段どんな仕事をされているのかが良く分かって有意義でした。
・他の大学のみなさんが行っている事がわかり、とてもよかった。しかし、分野がばらばらなので統一した分野で発表を行うほうが良いと思う。

④　特別講義(技術伝承・ものづくり)

大変参考になった	10 人
参考になった	6 人
参考にならなかった	1 人
どちらともいえない	1 人
回答なし	0 人
合　　計	18 人



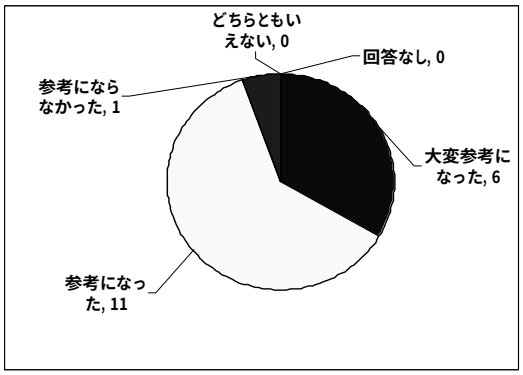
具体的な意見

・本物に触れながら物作りについて学ぶ点は良いと思う。
・地元伝統産業の技術の高さを感じられよかった。
・匠としての技術と支援のための技術のあり方にあまり関わりが見出せません。
・質問形式なのが分かりやすかった。

1．各講義内容について

⑤　学内ハードラボ群見学

大変参考になった	6 人
参考になった	11 人
参考にならなかった	1 人
どちらともいえない	0 人
回答なし	0 人
合　　計	18 人

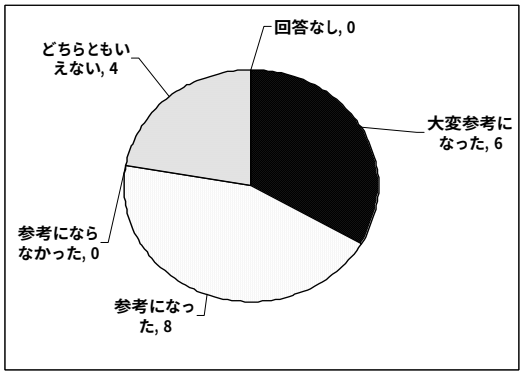


具体的な意見

・説明の時間がなくて途中になったことが多々あったのが残念。
・普段なじみのない分野の装置，施設も見学できて良かったです。
・安全管理等についての紹介があるとうれしいです。

⑥　工場見学

大変参考になった	6 人
参考になった	8 人
参考にならなかった	0 人
どちらともいえない	4 人
回答なし	0 人
合　　計	18 人



具体的な意見

・　先端の技術に触れられたことはよかった。できれば工場内部などを見学できればよかった。
・　生体についての計測機器の精密さはすごいと思いました。
・　個別に仕事内容が似ている技術職員の職場に訪問する時間が欲しかった。
・　機械系ものづくりの専門講義があると大変参考になります。

3．その他

・時間が余ったり足りなかったりでカリキュラムの組み合わせを調整してください。
・ 机の上のものを落としている人が数人いましたので､座席をもう少しゆったりととって下さい。
・石川県のみの技術職員研修では各分野の人員が少なく参考にしたい事例も少ないので、北陸三県くらいの規模で研修をしてほしい。
・座学と見学の割合を 2 日間とも同程度にしたらよいかなと思いました。
・研修について統一のテーマがあると良いと思う。

・ポスターセッションの時間を確保して欲しい。

6. まとめ

・工学部技術部の多くの方が、研修への参加､サポートで協力されたことに勇気づけられました。
・今回は金沢大学が主催校として研修を行いましたが、対象機関のメンバーによる実行委員会形式も視野に入れてよいのではないかと思いました。
・職員支援室との連携についてはスムーズに行うことができました。
・特別講義を「創成能力育成・技能伝承能力の実践、拡大」事業と共催して実施できたことは、新形式でよかった思います。
・まとめの一部として職員支援室作成のアンケート集計結果を参照して下さい。
・前年度に実施された東海北陸地区技術職員研修のノウハウの蓄積がパワーとなりました。

7. おわりに

今回の研修は、皆様一人、 一人が力を発揮され、無事終了することが出来ました。石川高専、先端大からは、感謝のメイルが届いておりますし、金沢大の研修生からも良い印象を持って頂いたことを聞いております。お世話をして良かったと感じております。

学部長をはじめ事務部の方々に格別なご配慮を頂き感謝申し上げます。専門講義をして頂いた先生方、ハードラボの見学でご協力頂いた先生方、技術員の方、工場見学においてお世話をして頂いた方に感謝申し上げます。川北先生には様々なご無理も聞いて頂き、私達に対して暖かく接して頂いた事は、本当に嬉しいことでした。川北先生のお言葉の端々には「木を生かす」という思いが､熱く感じられました。今後ともにご活躍をお祈りしております。

人間・機械工学科　米山教授ならびに、山中漆器産業技術センター　向平教務主任にはご指導、ご協力頂き厚く御礼申し上げます｡最後に今回の研修に参加頂いた皆様に感謝申し上げると共に、研修で得られたことの何か一つでも今後の業務のお役に立つことがあれば、幸いに存じます。

（文責　倉田喜博）

写真１　受付

写真２　開講式

写真３　事務連絡

写真４　専門講義Ⅰ

写真５　専門講義Ⅱ

写真６　技術発表１

写真７　技術発表２

写真８　技術発表３

写真９　ポスター説明

写真 10　懇親会

写真 11　特別講義 1

写真 12　特別講義 2

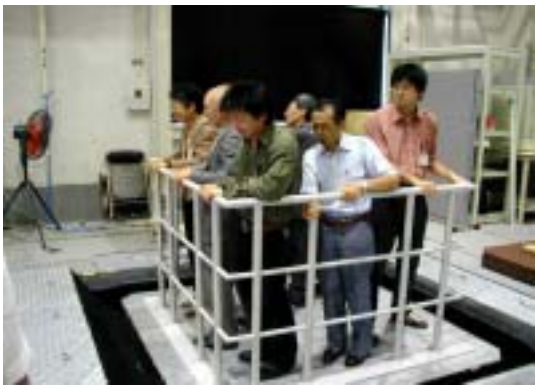


写真 13　ハードラボ見学 1

写真 14　ハードラボ見学 2

写真 15　横河電機工場見学

写真 16　閉講式

平成 19 年度　石川地区国立大学法人等技術職員研修

研修報告

機能機械工学科　　正角　豊

1. はじめに

平成 19 年 8 月 30 日（木）～8 月 31 日（金）に行われた平成 19 年度石川県地区国立大学法人等技術職員研修を受講したので報告します。研修のスケジュール表を表 1 に示します。

2. 第一日目　専門講義Ⅰ・Ⅱ・技術発表・職場紹介

専門講義Ⅰ「力学的刺激と骨形成促進」: 環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門　田中茂雄　准教授

力学刺激（ひずみ誘導型液体流動刺激）により再生骨肉の骨芽細胞の骨形成反応が促進されることの説明がありました。

専門講義Ⅱ「光触媒と超音波化学のカップリング-殺菌技術・がん治療の応用ー」: 環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門　清水宣明　教授

光触媒として知られている二酸化チタン(TiO_2)に超音波を照射すると非常に酸化力の強いヒドロキシルラジカルが生成することから、この性質を利用した新しいがん治療法についての説明がありました。

技術発表および職場紹介

技術発表は 9 名、職場紹介は 6 名でした。私は最後から 2 番目に技術発表しました。発表内容は技術報告にあります。皆さん日頃から技術向上に努めておられることがわかりました。普段はこのような発表をする機会がないのでとても勉強になりました。

3. 第二日目　特別講義・学内見学・工場見学

特別講義（技術伝承・ものづくり）: 石川県立山中漆器産業技術センター　石川県挽物轆轤技術研修所所長　重要無形文化財保持者-木工芸　川北良造　氏

先生の職人になるまでや苦労したこと、今まで製作した漆器についての話を質問形式で話をしてくださいました。分野は違っても、ものづくりについて学ぶことが多いことを思い知らされました。質問形式ということで、普通の講義とは違った形ではありましたが、質問に丁寧に答えていただき、また貴重な作品を手で触れさせていただき勉強になりました。

学内ハードラボ見学

Ａ班とＢ班に分かれて、「技術支援センター」「ハードラボⅢ（大型構造物実験室・プラズマ実験室・環日本海域環境研究センター生体機能計測研究部門１Ｆおよび２Ｆ）」「ハードラボⅣ（空気流計測実験室・河海工学実験室・風洞実験室（大型振動台）・金沢大学フォーミュラ研究会・熱機関試験室）」を見学した。私はＡ班で見学しました。今年完成したばかりのハードラボは同じ大学に勤めていても、なかなか中を見る機会がないので、とても参考になりました。

工場見学：横河電機　金沢事業所

金沢テクノパーク内にある横河電機の見学をＡ班とＢ班に分かれて行った。最近出来たばかりの工場なので、まだ研究施設のみで生産ラインは建設中でしたが、脳を見ることが出来る装置や新しい顕微鏡など大変勉強になりました。

4.　おわりに

専門講義はわかりやすく、大変興味をもたされる内容でした。技術発表は初めてだったのですが 15 分の発表内容をまとめるのに結構苦労しました。発表内容を決めるのが難しかったので、もっとこのような場で発表できるような業務を普段から行う必要性を痛感しました。他学校の技術職員の方はとてもいろいろなことに挑戦していることがわかりました。

特別講義は漆器職人の方の話でしたが、違った分野の話はとても興味あるものでした。工場見学は横河電機で、よく身の回りの装置で横河電機製のものを見るのですが、その工場を見学できてよかったです。最後にこのような充実した研修を企画し、お世話していただいた研修委員の方々に感謝いたします。

表 1.　平成 19 年度　石川県地区国立大学法人等技術職員研修日程表

時間	8月30日(木)	時間	8月31日(金)
		8:40	受　付(108講義室前)
8:50	受　付(108講義室前)	9:00	特別講義(技術伝承・ものづくり) 講師紹介(主催者の取材報告を含む)
9:20	開講式・オリエンテーション(108講義室)		
9:40	専門講義Ⅰ(108講義室) 金沢大学環日本海域環境研究センター 生体機能計測研究部門 田中茂雄　准教授 「力学的刺激と骨形成促進」		休　憩
10:40			特別講義(技術伝承・ものづくり) 石川県立山中漆器産業技術センター 石川県挽物轆轤技術研修所　所長 重要無形文化財保持者一木工芸 川北良造　氏
	休　憩	11:20	
10:50	専門講義Ⅱ(108講義室) 金沢大学環日本海域環境研究センター 生体機能計測研究部門 清水宣明　教授 「生体のスーパーセンサーとその工学への応用」		休　憩
11:50		11:30	学内ハードラボ群見学
11:50	昼 食 休 憩 職場紹介ポスター貼り	12:30	
13:00	技術発表・技術交流(5名) (108講義室)20分	12:30	昼 食 休 憩
14:40		13:30	
	休　憩	13:30	工場見学：横河電機　金沢事業所 金沢市北陽台2-3 (金沢テクノパーク内) TEL(076)258-7000(代表) FAX(076)258-7031 ライフサイエンス
14:50	技術発表・技術交流(5名) (108講義室)20分		
16:30		16:30	
16:30 17:15	休　憩 写真撮影	16:30	閉講式(会場：108講義室) 修了証書授与
17:15	懇 親 会 すみれ亭(2階_図書館棟)	17:10	
18:30			

研修報告：セイコーエプソン㈱「ものづくり塾」見学

機能機械工学科
正角　豊

■期間　　平成 19 年 11 月 5 日（月）～6 日（火）
■場所　　セイコーエプソン㈱「ものづくり塾」
　　長野県諏訪市大和 3-3-5
■参加者　小川孝吉、山口邦彦、浅野久志、北山外志夫、
　　正角豊、佐藤靖浩（6 名）

-セイコーエプソン本社-

特別教育研究経費「創成能力育成・技能伝承教育の実践，拡大」により、人間機械（4 名）機能機械（2 名）で長野にあるセイコーエプソン（本社）の「ものづくり塾」の企業見学を行ったので報告します。最初にセイコーエプソンの経営理念、品質理念、環境理念について、また、ものづくり塾を創った経緯、ものづくりに対する考え方などの説明を受けたあと、実際に現場の見学をしました。セイコーエプソンでは 2002 年より、これまで培ってきた技能の空洞化を防ぐ為に、若い技術者が熟練の技術者から直接技能を教えてもらう場として「ものづくり塾」を運営しているそうで、多数の熟練技能者が指導員として、若い社員に実践的な技術指導を行っています。このものづくり塾には「効率化道場」「設備保全道場」「技能道場」の 3 つの道場があり、新入社員は一度ここで２ヶ月ほどの基礎技能研修を受け（ものづくりの会社ということで、事務の人も同じように受講するそうです）、各部署に配属されるそうです。その中で特に才能のある数名の人がさらに技術を磨くべく、２年間給料を支給され訓練を行い、「技能五輪」などに出場し、技能の伝承に努めています。また、優れた熟練技能者を「エプソンの名工」として認定し、定年後も１年契約で技術の伝承のために働いてもらっています。

最初に加工機械（旋盤・フライス盤）の使い方などの訓練をしているところ（写真 1）を見せていただきました。

写真 1

写真 2 は各種ドリルの見本で、写真中の矢印は実際に加工品を削る様子がわかり勉強になりました。写真 3 は、ものづくり塾に習いに来た工業高校の先生が製作したものです。

写真 2

写真 3

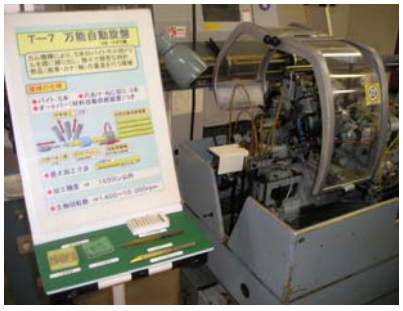


写真 4

写真 4 は昔の自動旋盤ですが、今でも動いていました。
これで小さい歯車やネジ（写真 5）を作るそうです。

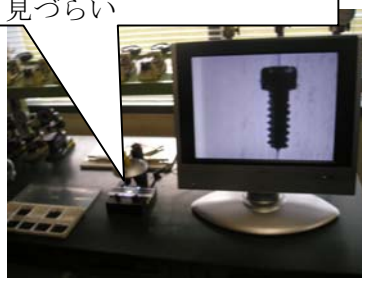


写真 5

写真 6-1

写真 6-2

写真 6-1、6-2 は新入社員がものづくり塾の研修で作成したものですが、大変きれいな仕上がりに驚きました。次に、実際に技能五輪に出場する社員の方が練習する場所を見学しました。このものづくり塾では特に基礎的な技能を重要視しているようで、ヤスリがけの大切さを強調されてました（ヤスリがけをし、精度や品質を肌で感じるため)。また実際、技能五輪でも旋盤とフライス盤以外はヤスリがけで製作するので、Ｓ４５Ｃの板に格子のような四角穴もヤスリで行うそうです（丸穴をあけて、ヤスリがけ)。

写真 7

写真 8

写真 9

写真 8 のような部品もヤスリで仕上げるそうです。技能五輪では当日の図面変更などがあるため、冷静に時間内に精度良く部品を作る訓練が必要なのではないでしょうか。写真 9 のようにそれぞれの社員のヤスリがけの台に、個人の名前と目標、受賞歴などが貼ってありました。

次に、電子回路製作などの実習をする部屋を見せていただきました。ここでは、回路の基礎と実際にプログラムを組んでの電子工作を学べる場所になっていました。また、工業高校の先生などが、ここにメカトロの基礎を学びに来るそうです。次に、液晶の技術や顕微鏡・蒸着装置などの使い方・メンテナンス方法を学ぶ場所を見学しました。ここでは、実際に液晶を作るところから始めるそうで、液晶の仕組みは知っていても、実際どのように作るのかはわからない社員が多いので、勉強になっているとのことです。また、型は古いですが、写真 10 のような各種顕微鏡もあり、やってはいけないことをあえてやらせて、壊し、その修理などの勉強もさせています。

写真 10

最後に、「ものづくり歴史館」にてセイコーエプソンの歴史と創業以来作ってきたものを見学させていただきました。時計の製作から始まった会社ですが、現在ではプリンタやプロジェクターの売り上げが総売上の 50～60%で時計の売り上げは 5%程度であるそうです。

◎ 感想

現在、企業だけではなく大学においても団塊世代の大量退職に伴う技術の空洞化は重要な課題であると思います。エプソンの方もいわれていたが、学校を出たばかりの新入社員は教科書の知識はあるが、実際にものづくりを体験した人が少ない為に、現場での戸惑いは大きいようです。技術職員においては、色々な仕事があり、当てはまらない人もいると思いますが、工作をする機会が多いと思います。そんなときに、熟練の方の指導を受け、しっかりとした技術を受け継いでいくことが大切なのではないかと思いました。また、加工の技術だけではなく、電子回路関係や顕微鏡等の観察装置のメンテナンスの仕方などについてしっかり教えるなどの講習をしないと、研究室にある高価な装置も単なる鉄の塊になるのではないでしょうか。今回の研修を通して、技術職員個々がもつ技術を後進に伝えていくことの重要さをあらためて痛感させられました。

最後にこのような貴重な研修の予算を工面していただいた人間機械工学科教授の米山猛先生、人間機械工学科長の臼田松男先生に感謝いたします。また、この研修を計画していただいた人間機械技術室の方々に深く感謝いたします。

編集後記

金沢大学工学部「技術部報告 Vol.8」をお届けします。本号は機能機械工学科の正角豊、物質化学工学科の大屋寿美江、新井美和子が編集を担当しました。なれない作業のため、多くの方にご迷惑をお掛けしましたが、本号にご寄稿いただいた皆様のおかげで、何とか発行までたどり着くことが出来ました。

最後に、本報告の発行にあたって、多忙な中、巻頭言を頂いた尾田技術部長（工学部長）をはじめ投稿者の皆様、工学部事務部およびご協力頂いた皆様に厚くお礼を申し上げます。

技術部調査編集委員

国立大学法人金沢大学工学部　技術部報告 Vol.8

発行日　2007 年 12 月 25 日

発　行　国立大学法人　金沢大学工学部　技術部

編　集　技術部調査広報委員（正角、大屋、新井）

住　所　〒920-1192

石川県金沢市角間町

電　話　076－234－4940　和布浦　和夫

E-mail:meura@t.kanazawa-u.ac.jp

電　話　076－234－4635　城戸　隆良

E-mail:kido@t.kanazawa-u.ac.jp

H　P　http://www.t.kanazawa-u.ac.jp/etech/index.html

技術部報告

金沢大学工学部　技術部